Deutscher Bundestag **Drucksache 17/9522**
17. Wahlperiode 30.04.2012

Unterrichtung
durch die Bundesregierung

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2010

Seite

Inhaltsverzeichnis

Zugeleitet mit Schreiben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 27. April 2012 gemäß § 5 Absatz 2 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes.

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2010

Alle im Text verwendeten Abkürzungen und Fachausdrücke sind in Anhang C erklärt. Grundsätzliche Zusammenhänge von Strahlendosis und Strahlenwirkung sowie die Definition Nichtionisierender Strahlung und ihrer Wirkunsmechanismen finden sich in Anhang A und B.

Wesentliche Ergebnisse im Berichtsjahr

Gesamtbewertung der ionisierenden Strahlung
- Berechnete Gesamtexposition beträgt wie im Vorjahr 3,9 mSv

Medizinische Strahlenexposition:
- Anstieg der mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung durch Röntgen von 1996 bis 2009 um 0,2 mSv auf ca. 1,7 mSv.
- Verdoppelung der Anzahl der Computertomographien pro Einwohner und Jahr zwischen 1996 und 2009.

Berufliche Strahlenexposition:
- Mittlere Jahresdosis exponierter Personen von 0,67 mSv deutlich unter dem Vorjahresniveau (2009: 0,84 mSv).

Strahlenexposition Flugpersonal:
- Gegenüber dem Vorjahr leicht verminderte mittlere Jahresdosis von 2,26 mSv (2009: 2,4 mSv).
- Höchste Jahresdosis des fliegenden Personals bei 7,4 mSv (2009: 7,0 mSv).

Register hochradioaktiver Strahlenquellen:
- Aufnahme von 10 Genehmigungsinhabern im Jahr 2010 in das Register (Gesamt: 590).

Schachtanlage Asse:
- Die Strahlenexposition der Bevölkerung lag im Bereich des Vorjahres (ermittelt nach dem Entwurf der AVV zu § 47 StrlSchV).

Tschernobyl-Folgen:
- Jährliche Abnahme der Cäsium-137-Inventare von Boden und Nahrungsmitteln um 2–3 % mit Ausnahme der Kontamination von Wild, die stellenweise immer noch sehr hoch ist.

Auftrag

Das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) vom 19. Dezember 1986 sieht die jährliche Berichterstattung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit an den Deutschen Bundestag und den Bundesrat über die Entwicklung der Radioaktivität in der Umwelt vor. Der vorliegende Bericht enthält die wichtigsten Informationen und Änderungen im Bereich Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung gegenüber den Vorjahren. Dazu werden die erhobenen Daten im Bereich Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zusammengefasst, aufbereitet und dokumentiert (§5 Abs.1 und §11 Abs.6 StrVG).

Zusätzlich enthält dieser Bericht Informationen über den Bereich „Nichtionisierende Strahlung“ (NIR).

Definitionen der Begriffe „ionisierende Strahlung“ und „nichtionisierende Strahlung“ und Grundsätzliches zu Strahlendosis und Strahlenwirkung sind in den Anhängen A und B zusammengestellt. Die in diesem Bericht verwendeten Fachbegriffe und Abkürzungen sind im Anhang C erläutert. Darüber hinaus enthält dieser Bericht ein Stichwortverzeichnis in Anhang D. Ausführlicheres Datenmaterial ist den Jahresberichten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zu entnehmen.

Zusammenfassung

Der Bericht behandelt im Bereich der ionisierenden Strahlung folgende Themen:

- die natürliche Strahlenexposition, die zivilisatorisch verändert sein kann
- die zivilisatorische Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen, Zwischen- und Endlager
- die zivilisatorische Strahlenexposition durch Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus der ehemaligen SDAG Wismut
- die Strahlenexposition durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl und durch Kernwaffenversuche
- die berufliche Strahlenexposition
- die medizinische Strahlenexposition.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die mittlere effektive Jahresdosis in diesen Bereichen.

Die natürliche Strahlenexposition durch ionisierende Strahlung setzt sich aus der kosmischen und der terrestrischen Komponente (Höhen- und Bodenstrahlung) sowie aus der Exposition durch die Aufnahme (Ingestion und Inhalation) natürlicher radioaktiver Stoffe in den Körper zusammen.

Veränderungen der Umwelt des Menschen durch technische Entwicklungen, die eine unbeabsichtigte Anreicherung natürlich radioaktiver Stoffe zur Folge haben, führen zu einer zivilisatorisch bedingten Erhöhung der natürlichen Strahlenexposition. Insbesondere das radioaktive Edelgas Radon in Gebäuden kann zur Erhöhung der Exposition beitragen.

Die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung resultiert aus Beiträgen kerntechnischer Anlagen, aus der Sanierung von Bergbauanlagen durch die Wismut GmbH, aus der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Medizin, Forschung, Technik und Haushalt sowie aus dem Fall-out von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre bis Anfang der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts. Die Charakterisierung der beruflichen Strahlenexposition (siehe Abbildung 2) berücksichtigt sowohl natürliche als auch zivilisatorische Strahlenquellen.

Der Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl am 26. April 1986 verursachte auch im Jahr 2010 noch einen, wenn auch geringen Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition.

Einzelergebnisse für das gesamte Bundesgebiet im Jahr 2010 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Natürliche Strahlenexposition

Die kosmische Strahlung und die überall in der Umwelt vorkommenden natürlichen Radionuklide (kosmogene und terrestrische Radionuklide) sind die Ursache der natürlichen Strahlenexposition. Die jährliche effektive Dosis beträgt bei durchschnittlichen Bedingungen in Deutschland 2,1 mSv. Sie weist aber beträchtliche Unterschiede auf, die vor allem durch die geologische Beschaffenheit des Untergrundes, aber auch durch die Lebens- und Ernährungsgewohnheiten und die Höhe des Aufenthaltsortes verursacht werden.

Zur jährlichen effektiven Dosis aus der äußeren Strahlenexposition tragen die kosmische Strahlung mit 0,3 mSv und die in den Böden, Gesteinen und in den Baumaterialien vorkommenden terrestrischen Radionuklide mit 0,4 mSv bei.

Aus der Inkorporation natürlicher Radionuklide mit der Nahrung ergibt sich bei durchschnittlichen Ernährungsbedingungen eine jährliche effektive Dosis von 0,3 mSv. Sie wird durch die terrestrischen Radionuklide bestimmt. Der Beitrag durch die kosmogenen Radionuklide ist gering (Abschnitt I).

Die Inhalation von Radon und seiner kurzlebigen Zerfallsprodukte liefert den Hauptbeitrag zur natürlichen Strahlenexposition. Die jährliche effektive Dosis, die durch die Inhalation dieser Radionuklide entsteht, beträgt etwa 1,1 mSv, davon 0,9 mSv durch Aufenthalt in Gebäuden.

Die Strahlenexposition durch Rn-222 und seine kurzlebigen Zerfallsprodukte mit der Atemluft variiert bundesweit beträchtlich. Ursachen dafür sind die geologischen Bedingungen, aber auch Art und Zustand der Gebäude. Durch epidemiologische Untersuchungen ist nachgewiesen, dass erhöhte Strahlenexpositionen durch Radon eine Ursache für Lungenkrebs sein können. Deshalb sollten die Radonkonzentrationen in Wohn- und Aufenthaltsräumen – soweit wie möglich – reduziert werden (Abschnitt I.3).

Zivilisatorische Strahlenexposition

Die mittlere effektive Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition lag bei ca. 1,8 mSv pro Einwohner und Jahr.

Abbildung 1

Effektive Jahresdosis einer Person durch ionisierende Strahlung in mSv im Jahr 2010, gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands und aufgeschlüsselt nach Strahlenursprung

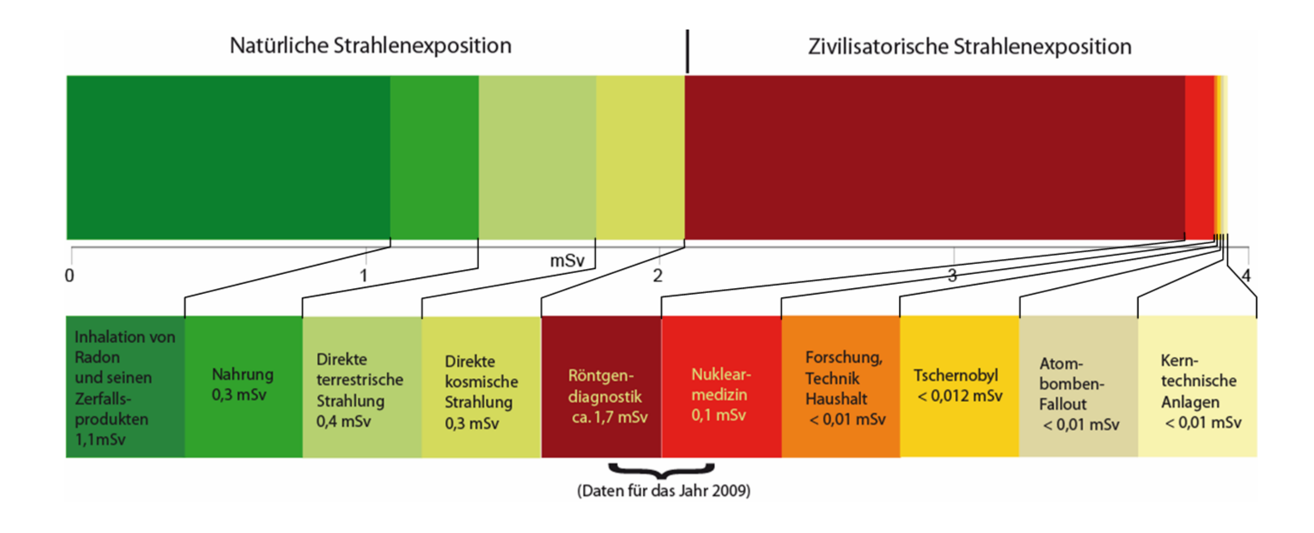
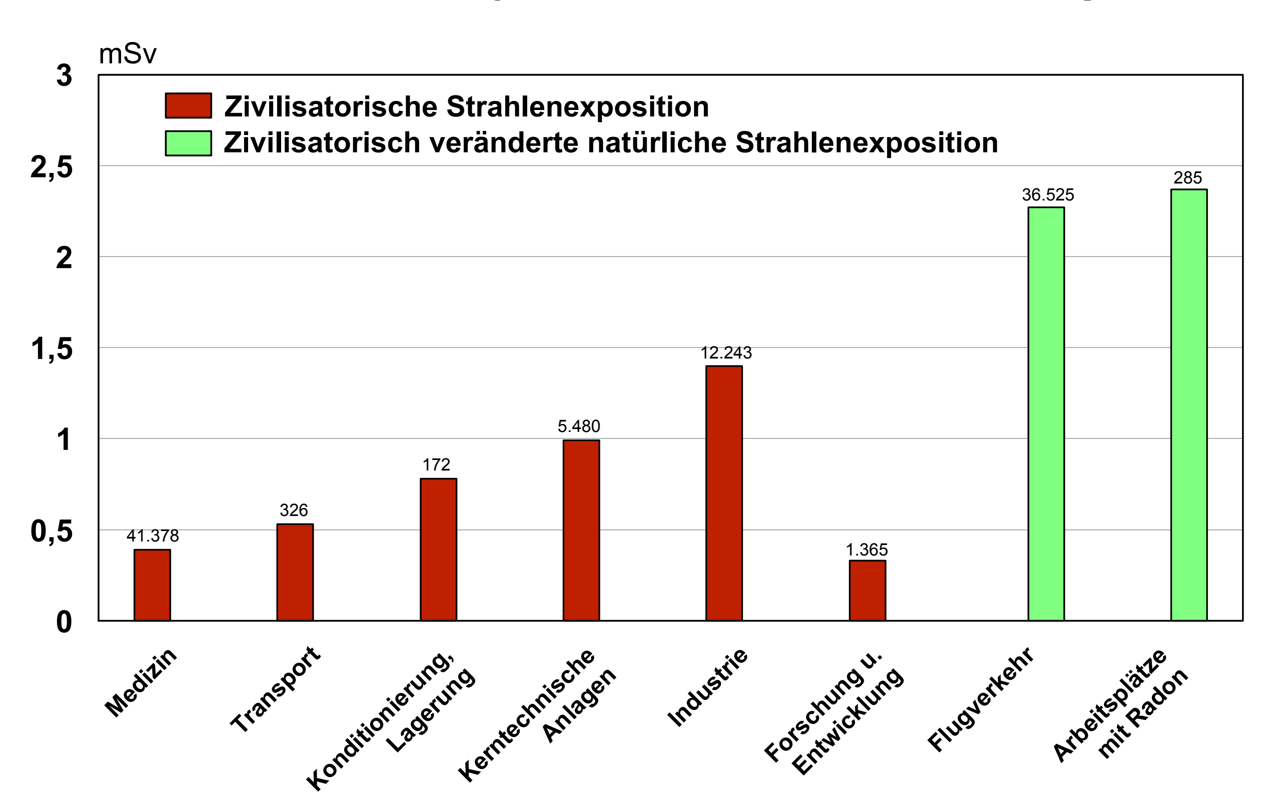


Abbildung 2

Mittlere Jahrespersonendosis beruflich strahlenexponierter Personen in Deutschland im Jahr 2010 in bestimmten Tätigkeitsbereichen und Anzahl der betroffenen Arbeitsplätze



Der Beitrag der Strahlenexposition durch Kernkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen sowie durch die Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus und deren Sanierung durch die Wismut GmbH in der Bundesrepublik Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 2010 deutlich unter 1 % der gesamten zivilisatorischen Strahlenexposition. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe lagen bei allen kerntechnischen Anlagen unterhalb, bei den meisten weit unterhalb der genehmigten Jahreswerte (Abschnitt II.1).

Die Beiträge durch die Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Forschung, Technik und Haushalt lagen unterhalb 0,01 mSv (Abschnitt II.4).

Zivilisatorische Berufliche Strahlenexposition

Die berufliche Strahlenexposition hat sich gegenüber dem Vorjahr nicht wesentlich verändert.

Die Zahl der Personen, die mit Dosimetern beruflich strahlenschutzüberwacht werden, betrug im Jahr 2010 ca. 340 000 und hat sich damit gegenüber dem Vorjahr um 6300 Personen erhöht. Von den Überwachten erhielten ca. 59 800 Personen eine messbare Dosis. Die mittlere Jahrespersonendosis der exponierten Personen betrug 0,67 mSv und liegt damit 20% unter dem Wert des Vorjahres (0,84 mSv).

Berufliche Strahlenexposition, zivilisatorisch verändert

Im Jahr 2010 wurden ca. 36 800 Personen des fliegenden Personals überwacht. Dies entspricht etwa der Anzahl der Überwachten des Vorjahres. Davon erhielten 36 525 Personen eine von 0 verschiedene Dosis. Das Flugpersonal wird nicht mit Dosmimetern überwacht. Die Luftfahrtgesellschaften ermitteln stattdessen die Dosis für das fliegende Personal mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen. Die mittlere Jahresdosis des fliegenden Personals sank gegenüber dem Vorjahr von 2,4 mSv auf 2,26 mSv. Abbildung 2 gibt einen Überblick der Strahlenexposition der exponierten Personen, aufgeschlüsselt nach Tätigkeitsbereichen. Über den Säulen ist zusätzlich die Anzahl der betroffenen Personen vermerkt. Im Jahr 2010 wurden 285 Personen an Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition überwacht (Schauhöhlen, Wassergewinnung, Beschäftigte der Wismuth GmbH). Die mittlere Jahresdosis dieser Personen ging von 3,8 mSv im Vorjahr auf 2,4 mSv zurück.

Medizinische Strahlenexposition

Der größte Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition wird durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in der Medizin, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht. Dieser Beitrag ist in den letzten Jahren angestiegen. Die aktuelle Schätzung für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner bezieht sich auf das Jahr 2009 und beträgt ca. 1,7 mSv für die Röntgendiagnostik und 0,1 mSv für die Nuklearmedizin (siehe Abschnitt IV).

Strahlenexposition durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl und den Kernwaffen-Fallout

Die durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl resultierende mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung ging zwar von 0,11 mSv im Jahr 1986 auf weniger als 0,011 mSv im Jahre 2010 zurück, dennoch finden sich in Lebensmitteln (z.B. Pilze und Wildbret) aus einigen Waldgebieten immer noch stark erhöhte Cäsium-137-Werte. Regional treten Strahlenbelastungen auf, die bis zu einem Faktor 10 über den o.g. Mittelwerten liegen.

Die Dosis durch die in großer Zahl bis in die 60er Jahre des letzten Jahrhunderts und letztmals im Jahr 1981 in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche ist weiterhin rückläufig; sie betrug 2010 weniger als 0,01 mSv.

Gesamtbewertung der ionisierenden Strahlung

Die mittlere effektive Dosis für eine Person der Bevölkerung durch die natürliche und die zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition liegt zwischen 2 und 3 mSv pro Jahr. Rechnerisch ergibt sich für Erwachsene ein Wert von 2,1 mSv.

Bei der zivilisatorischen Strahlenexposition wurde der Dosisbeitrag durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin auf insgesamt etwa 1,8 mSv pro Jahr für röntgendiagnostische und nuklearmedizinische Untersuchungen abgeschätzt. Die Beiträge der anderen Strahlenquellen sind sehr gering. Die berechnete Gesamtexposition beträgt dadurch wie im Vorjahr 3,9 mSv pro Jahr und Person.

Nichtionisierende Strahlung

Das Frequenzspektrum der nichtionisierenden Strahlung erstreckt sich von statischen Magnetfeldern wie z.B. dem Erdmagnetfeld über niederfrequente elektrische und magnetische Felder (z.B. des Haushaltsstroms) und hochfrequente elektromagnetische Felder (z.B. des Mobilfunks) bis zur optischen Strahlung, die sich in Infrarotstrahlung, sichtbares Licht und UV-Strahlung unterteilen lässt.

Auf Grund der technischen Entwicklung ist die Bevölkerung in zunehmendem Maße niederfrequenten Feldern der Energieversorgung und hochfrequenten Feldern der drahtlosen Kommunikationstechnologien ausgesetzt. Der Ausbau der Mobilfunknetze in Deutschland, insbesondere die Einführung neuer Technologien (UMTS-, LTE, siehe Anhang C) sowie die zusätzliche Einführung von Funkdienstleistungen wie z.B. des Digitalen Fernsehens (DVB-T), prägt weiterhin die öffentliche Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken von drahtlosen Kommunikationstechnologien (Abschnitt V.1.3).

Die Mobilfunkbetreiber haben sich im Dezember 2001 gegenüber der Bundesregierung dazu verpflichtet, den Verbraucher- und Gesundheitsschutz im Bereich des Mobilfunks zu verbessern. Unabhängig erstellte Gutachten dienten der Bundesregierung als Grundlage für die jährlich mit den Mobilfunkbetreibern geführten Überprüfungsgespräche. Die wesentlichen Ziele - die Klärung offener Forschungsfragen, die Verbesserung der Transpa-

renz beim Netzausbau und bei den tatsächlich gemessenen Immissionen - wurden erreicht. Im Juni 2008 haben die Mobilfunkbetreiber zugesagt, die Selbstverpflichtung fortzuführen und auch in Zukunft die etablierten Abläufe und Maßnahmen uneingeschränkt weiterzuführen.

Das BfS hat im November 2008 mit der Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS, www.bdbos.bund.de) eine Verwaltungsvereinbarung geschlossen mit dem Ziel, dass beim Aufbau dieses Digitalfunks die grundlegenden Anforderungen des Strahlenschutzes berücksichtigt werden sowie die Öffentlichkeit in Bezug auf Aspekte des Strahlenschutzes informierent wird. Schwerpunkt der Vereinbarung ist die Durchführung von Forschungsvorhaben, deren Vergabe sowie fachliche und administrative Bearbeitung durch das BfS erfolgt (Abschnitt V.1.1).

Im medizinischen Bereich werden niederfrequente Magnetfelder z. B. zu diagnostischen Zwecken eingesetzt. Für den Strahlenschutz relevant ist dabei z. B. die Magnetresonanztomographie (MRT), ein bildgebendes Verfahren, das vor allem in der medizinischen Diagnostik zur Darstellung von Struktur und Funktion der Gewebe und Organe im Körper eingesetzt wird. Hier werden das betreuende medizinische Personal und die Patienten unter Umständen starken statischen Magnetfeldern ausgesetzt.

Für niederfrequente elektrische und magnetische sowie für hochfrequente elektromagnetische Felder wurden, basierend auf internationalen Empfehlungen, Grenzwerte festgelegt. Diese Grenzwerte beruhen auf wissenschaftlich nachgewiesenen Gesundheitsrisiken unter Berücksichtigung aller zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen Erkenntnisse. Ihre Gültigkeit wird regelmäßig unter Berücksichtigung der neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse vom BfS überprüft und hat sich auch 2010 bestätigt (Abschnitt V.1.1). Die derzeit gültigen Grenzwerte für ortsfeste Nieder- und Hochfrequenzanlagen sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) festgeschrieben.

Die Einhaltung der Grenzwerte von ortsfesten Hochfrequenzanlagen wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Bundesnetzagentur (BNetzA) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. Bundesweite Messungen der BNetzA zeigten, dass die Grenzwerte in den durch die Messungen abgedeckten Bereichen auch 2010 erheblich unterschritten wurden.

Gegenstand kontroverser öffentlicher und wissenschaftlicher Diskussion sind mögliche biologische Wirkungen niederfrequenter und hochfrequenter elektromagnetischer Felder bei Intensitäten unterhalb dieser Grenzwerte. In Bezug auf hochfrequente elektromagnetische Strahlung hat das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF), das mit insgesamt 54 Forschungsprojekten offenen wissenschaftlichen Fragen und Hinweisen auf mögliche Effekte hochfrequenter Felder nachging und 2008 abgeschlossen wurde, dazu beigetragen, die Datenlage der wissenschaftlichen Erkenntnisse bezüglich hochfrequenter Felder und deren Auswirkungen auf den Menschen entscheidend zu verbessern. Den Hinweisen auf mögliche Effekte unterhalb der Grenzwerte wurde hier in Wiederholungsstudien nachgegangen. Die Hinweise konnten nicht bestätigt werden. In Bezug auf mögliche Langzeitrisiken für Handynutzungszeiten über 10 Jahre und in Bezug auf die Frage, ob Kinder stärker durch hochfrequente elektromagnetische Felder exponiert sind oder empfindlicher reagieren als Erwachsene, besteht weiterhin Forschungsbedarf. Vor diesem Hintergrund wird die Beibehaltung der vom BfS und auch von der Strahlenschutzkommission formulierten einschlägigen Vorsorgemaßnahmen vor allem für Kinder und Jugendliche weiterhin empfohlen.

Die UV-Belastung der Bevölkerung steigt auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und der Nutzung so genannter Wellness-Bereiche mit Solarien kontinuierlich an. Die Besorgnis erregende Zunahme von Hautkrebs ist mit diesem Freizeitverhalten in Verbindung zu bringen. Hier besteht auch 2010 weiterhin Handlungsbedarf. Dem entsprechend hat sich das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) auch 2010 für die Umsetzung von Maßnahmen zur Reduzierung der UV-Belastung der Bevölkerung eingesetzt. Hierzu gehört das in Deutschland seit 1993 etablierte UV-Monitoring des BfS und des Umweltbundesamtes (UBA). Zusammen mit weiteren fünf Institutionen wird die tägliche UV-Strahlung der Sonne kontinuierlich erfasst, bewertet und der daraus ermittelte UV-Index im Internet veröffentlicht. Die höchsten Werte wurden in Süddeutschland im Mai und Juni gemessen (Abschnitt V.2.3).

In Bezug auf den Schutz vor künstlicher UV-Strahlung wurde das 2003 etablierte freiwillige Zertifizierungsverfahren für Solarien auf Grundlage der am Runden Tisch Solarien (RTS) erarbeiteten Kriterien (seit 2007 bezeichnet als „Kriterien des BfS“) weiter betrieben. Die einheitlichen Kriterien des BfS stellen einen Mindeststandard zum Schutz der Kunden von Solarien vor zu hoher UV-Belastung dar. Nach Einführung einer Begrenzung der erythemwirksamen Gesamtbestrahlungsstärke auf maximal 0,3 W/m^2 (Watt pro Quadratmeter) für alle Solarien als Voraussetzung für die Zertifizierung von Sonnenstudios zum 1. August 2008 ließen sich auch 2010 keine Solarien mehr nach den Kriterien des BfS zertifizieren. In Anbetracht dieser Entwicklung und der enttäuschenden Ergebnisse der stichprobenartigen Überprüfungen des BfS von zertifizerten Sonnenstudios bemühten sich BfS und BMU um eine verbindliche gesetzliche Regelung. Dazu wurde ein Gesetztentwurf zur Regelung des Schutzes vor nichtionisierender Strahlung erarbeitet. Im August 2009 trat das Gesetz zur Regelung des Schutzes vor nichtionisierender Strahlung (NiSG) in Kraft. Basierend auf diesem Gesetz wurde 2009 eine entsprechende Rechtsverordnung für Solarien erarbeitet. 2010 befand sich diese Rechtsverordnung noch im politischen Abstimmungsprozess.

Die Einwirkung von künstlicher oder der im Sonnenlicht enthaltenen UV-Strahlung führt zu dauerhaften und irreversiblen Veränderungen an Auge und Haut. Geringe Sonnenexpositionen können sich dagegen gesundheitsfördernd auswirken. Durch UV-B-Strahlung wird die Syn-

these von Vitamin D induziert, das den Kalziumspiegel im Blut reguliert und eine essentielle Rolle im Aufbau und Erhalt des Knochengewebes spielt. Aufgrund dieser Aussagen existieren international widersprüchliche Empfehlungen in Bezug auf eine gesundheitsfördende UV-Bestrahlung.

Mittels epidemiologischer Studien und durch Untersuchungen an Tiermodellen und Zellen konnte gezeigt werden, dass auch chronische Bestrahlung mit Infrarot (IR; Wärmestrahlung) sowohl allein als auch in Kombination mit UV-Strahlung Hautschäden hervorrufen kann. Zur Verbesserung der wissenschaftlichen Datenlage und zur Verbesserung der Risikobewertung von UV-Strahlung sowie von IR-Srahlung in Kombination mit UV-Strahlung hat das BfS auch 2010 weiterführende Forschung initiiert und koordiniert.

I. Natürliche Strahlenexposition

1. Arten natürlicher Strahlenquellen

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Es wird zwischen der äußeren und der inneren Strahlenexposition des Menschen unterschieden.

Äußere Strahlenexposition

Zur äußeren Strahlenexposition trägt neben der aus dem Weltall stammenden kosmischen Strahlung die Gammastrahlung bei, die von den in Böden, Gesteinen und Baumaterialien vorkommenden Radionukliden ausgeht und als terrestrische Strahlung bezeichnet wird. Es handelt sich dabei um Radionuklide aus der Uran-238-, der Uran-235- und der Thorium-232-Zerfallsreihe sowie das Einzelnuklid Kalium-40. Diese natürlichen radioaktiven Bestandteile des Bodens gelangen über die Nahrungskette und das Wasser letztlich auch in den menschlichen Organismus.

Innere Strahlenexposition

Aus der Inkorporation natürlicher Radionuklide durch Ingestion von Nahrungsmitteln und Inhalation luftgetragener natürlicher Radioaktivität, resultiert eine innere Strahlenexposition. Die Inhalation von Radon-222, das ein gasförmiges Zerfallsprodukt aus der Uran-238-Zerfallsreihe ist, liefert den Hauptbeitrag zur natürlichen Strahlenexposition. Verantwortlich dafür sind seine kurzlebigen Zerfallsprodukte. Der Beitrag, der durch die Inhalation von Radon-220 und seiner kurzlebigen Zerfallsprodukte zustande kommt, ist unter den in Deutschland vorherrschenden Bedingungen gering.

2. Beiträge zur Strahlenexposition

2.1 Kosmische und terrestrische Strahlung

Die Strahlung, die die Erdatmosphäre aus dem Kosmos trifft (hauptsächlich Protonen), löst sekundäre kosmische Teilchen- und Gammastrahlung aus. Sie verursacht in Höhe des Meeresspiegels eine jährliche effektive Dosis von etwa 0,24 mSv und nimmt mit der Höhe über dem Meeresspiegel zu (Verdopplung bei jeweils 1500 m Höhenzunahme). Die Neutronenkomponente der sekundären kosmischen Strahlung verursacht in Höhe des Meeresspiegels nur eine jährliche effektive Dosis von etwa 0,03 mSv. Die Dosisrate der Neutronenkomponente steigt mit zunehmender Höhe stark an und beträgt in üblichen Reiseflughöhen das Tausendfache. Insgesamt beträgt die jährliche effektive Dosis aus der kosmischen Strahlung etwa 0,3 mSv.

Die durch die terrestrischen Radionuklide verursachte äußere Strahlenexposition ist auf den Gehalt der Böden, der Gesteine und vor allem der Baumaterialien an den Nukliden der Thorium- und der Uran-Radiumzerfallsreihe sowie an Kalium-40 zurückzuführen. Im Freien auf nicht versiegelten Flächen ist sie vom Gehalt der genannten Radionuklide in der obersten Bodenschicht bis zu ca. 50 cm Tiefe abhängig. Im Mittel wurden dort für die terrestrische Gamma-Ortsdosisleistung 57 nSv/h bestimmt (Photonen-Äquivalentdosisleistung, Nanosievert pro Stunde, siehe Anhang C). Höhere Werte, lokal auch über 200 nSv/h, wurden insbesondere in Gebieten festgestellt, in denen an der Oberfläche Granitmassive anstehen, und über Böden in solchen Gebieten. Beispiele dafür sind die Bergbaugebiete in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt sowie Gebiete im Bayerischen Wald und im Schwarzwald.

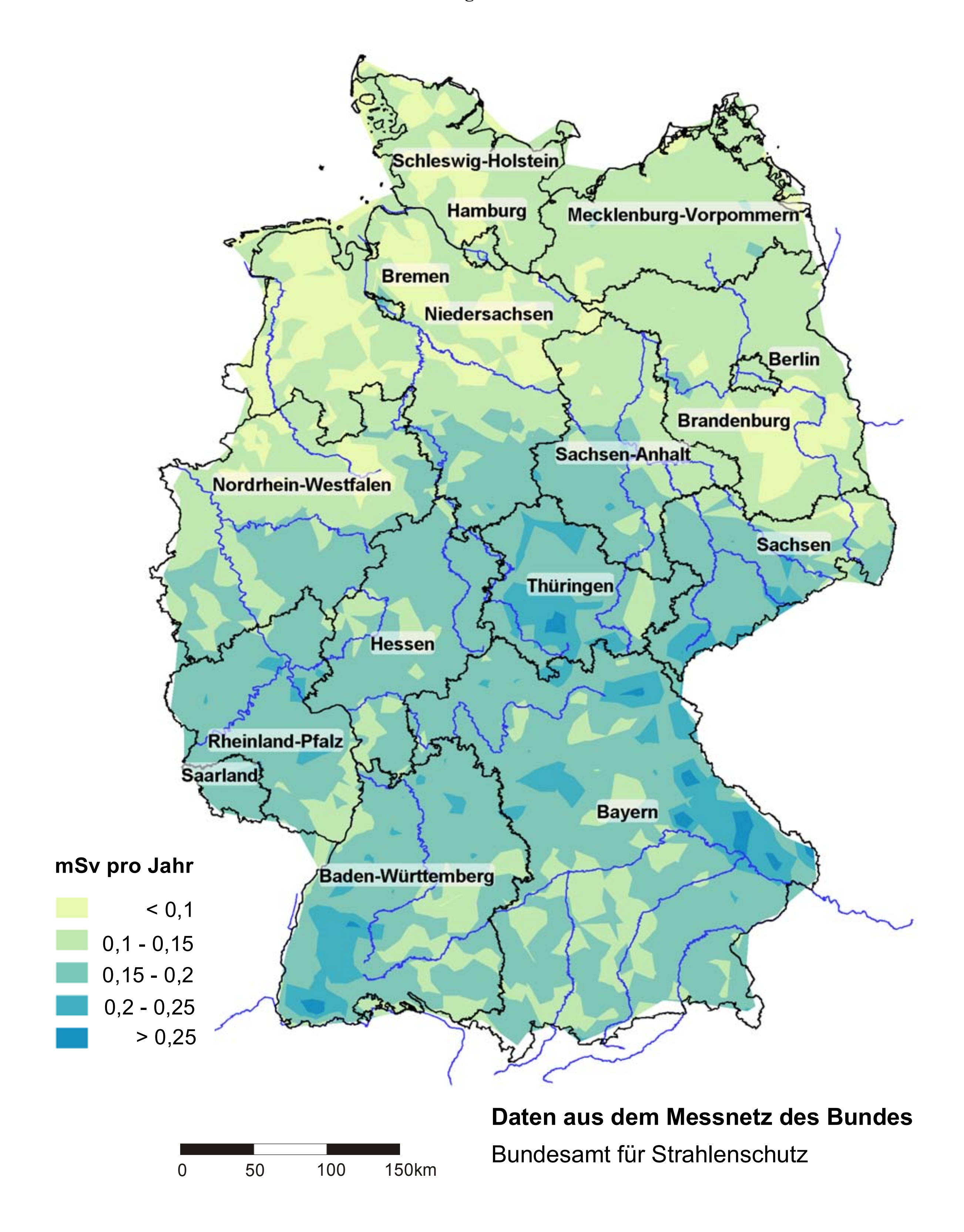
Abbildung I.2-1 zeigt als Maß für die geographische Verteilung der externen Strahlenexposition im Freien die Gamma-Ortsdosisleistung in Bodennähe in der Bundesrepublik Deutschland. Abgesehen von den unterschiedlichen Gehalten an terrestrischen Radionukliden spiegelt sie auch die mit der Höhe zunehmende kosmische Strahlung wider. Die terrestrische Strahlung trägt im Mittel einen Anteil von 40 nSv/h, die kosmische Strahlung 32 nSv/h zur effektiven Dosis bei. Bei einem mittleren Aufenthalt von 5 Stunden pro Tag im Freien ergibt die Summe dieser beiden Werte pro Jahr im Mittel 0,13 mSv.

In urbanen Gebieten wird die terrestrische Strahlung im Freien überwiegend durch den Gehalt der Radionuklide in den Materialien verursacht, die zum Straßen- und Häuserbau verwendet worden sind und nur zu einem geringen Teil durch den Radionuklidgehalt in Böden oder Gesteinen.

In Gebäuden wird die äußere Strahlenexposition durch den Gehalt der Radionuklide in den verwendeten Baustoffen bestimmt (siehe Kapitel II.2). Bei einem Wertebereich von 20 bis 700 nSv/h beträgt die Gamma-Ortsdosisleistung im Mittel 80 nSv/h (Photonen-Äquivalentdosisleistung). Sie trägt 56 nSv/h zur effektiven Dosis bei (Der Zusammenhang der verschiedenen Dosisgrößen ist in Anhang A erläutert). Zusammen mit der kosmischen Komponente von 26 nSv/h ergibt dies bei einem mittleren Aufenthalt von 19 Stunden pro Tag in Gebäuden pro Jahr im Mittel 0,57 mSv. Addiert man zu diesem Wert die Strahlenexposition im Freien (0,13 mSv) erhält man als Mittelwert 0,7 mSv für die gesamte äußere Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen. Dazu tragen die Radionuklide im Boden und in Baumaterialien in Höhe von 0,4 mSv bis 0,5 mSv bei.

Abbildung I.2-1

Externe Strahlenexposition im Jahr 2010 in Deutschland beim Aufenthalt von täglich 5 Stunden im Freien



Daten aus dem Messnetz des Bundes

Bundesamt für Strahlenschutz

2.2 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten und im Bergbau

In den Jahren 2007 bis 2009 führte das BfS ein Messprogramm zur Bestimmung der spezifischen Aktivität natürlicher Radionuklide und der Radonabgabe an aktuellen und marktüblichen Baustoffen durch. Durch die Beteiligung des Bundesverbandes Baustoffe - Steine und Erden e.V. konnte eine hohe Marktabdeckung der einzelnen Baustoffgruppen sowie Informationen über Rezeptur und Herkunft der Rohstoffe erlangt werden. Wegen der Vielzahl möglicher Rezepturen und des begrenzten Untersuchungsprogramms können die Werte für Normalbeton nicht als repräsentativ angesehen werden. Es wurden ca. 120 markttypische Baumaterialproben aus aktueller Produktion von 11 Branchen im BfS untersucht. Wegen ihrer radiologischen Bedeutung beschränkte sich das Programm ausschließlich auf Baustoffe für Innenräume. Die Ergebnisse der massenspezifischen Aktivitätsmessungen in den Baustoffen sind in Tabelle I.2-1 zusammengefasst.

Für die Mehrzahl der Baustoffgruppen wird eine Gesamtdosis deutlich unterhalb von 1 mSv pro Jahr abgeschätzt. Dieser Wert kann bei den Produktgruppen Ziegel, Leichtbeton und Beton, die allerdings die Massenprodukte darstellen, von wenigen Produkten überschritten werden. Selbstverständlich sind bei wechselnden Rohstoffen oder Zusätzen von Rückständen mit erhöhten Radionuklidgehalten Abweichungen der durchschnittlichlichen Exposition von 0,5 mSv/a nach oben und unten möglich.

Örtlich können auch Hinterlassenschaften des Bergbaus und der Industrie, die erhöhte Gehalte an Radionukliden der Uran-Radium-Zerfallreihe - in einigen Fällen auch der Thorium-Zerfallreihe - aufweisen, zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche Radionuklide beitragen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Hinterlassenschaften des ehemaligen Uranbergbaus und der Verarbeitung in Sachsen und Thüringen, bei denen Sanierungsmaßnahmen zur Senkung der Strahlenexposition durchgeführt werden. Über die dabei unvermeidlichen Ableitungen natürlicher Radionuklide, die mit Genehmigung der zuständigen Behörden erfolgen, und die dadurch verursachten Strahlenexpositionen informiert der Abschnitt II.3.

2.3 Nahrungsmittel und Trinkwasser

Die innere Strahlenexposition durch Ingestion von Nahrungsmitteln wird überwiegend durch den Kaliumgehalt des Körpers bestimmt, der zu einem bestimmten Anteil aus Kalium-40 besteht. Er ist auf Grund spezieller biologischer Regelmechanismen konstant und nicht von der Nahrungsaufnahme abhängig. Der durchschnittliche Kalium-40-Gehalt im Körper eines Erwachsenen beträgt 4000 Bq. Daraus ergibt sich eine jährliche effektive Dosis in Höhe von 0,165 mSv.

Für die übrigen Radionuklide hängt die innere Strahlenexposition von der Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung ab und wird entsprechend ermittelt. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen variieren die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 2006[1] abgeschätzt, dass sich durch die Aufnahme natürlicher Radionuklide mit der Nahrung und dem Trinkwasser eine jährliche effektive Dosis im Bereich von 0,3 mSv ergibt. Die Ergebnisse des BfS-Trinkwasser-Messprogrammes finden sich im Bericht für das Jahr 2009 und unter www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/trinkwasser.html.

[1] United Nations, Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly, with 2 Scientific Annexes. Volume I

Tabelle I.2-1

Ergebnisse der Radionuklidbestimmungen in Baustoffgruppen

Produkte	Spezifische Aktivität [Bq/kg]						
	Probenzahl	K-40		Th-228		Ra-226	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.
Gipsprodukte	5	< 20	120	1,6	5,8	3,8	13
Kalksandsteine	3	35	180	2,8	7,2	4,1	10
Mineralwolle	7	49	350	4,7	64	16	80
Ziegel	27	470	1200	37	98	38	63
Zement/Mörtel	11	135	380	11	21	11	35
Fliesen/Keramik	5	295	620	39	97	67	110
Porenbeton	10	97	350	4,8	19	8	26
Mörtel	7	120	310	6	31	11	53
Putze	19	12	220	0,9	31	2	22
Estrich	5	210	295	11	34	11	26
Leichtbeton	7	710	850	28	83	27	98
Normalbeton	3	230	560	10	47	13	25

2.4 Radon

Für Deutschland liegt die Radonkonzentration in Wohnräumen im Mittel bei ca. 50 Bq/m^3. Die gemessenen Werte aus über 60000 Häusern umfassen einen Bereich von weniger als 30 Bq/m^3 bis zu mehreren Tausend Bq/m^3.

Häuser mit Radonkonzentrationen oberhalb des vom BMU und BfS in Übereinstimmung mit der WHO empfohlenen Zielwertes von 100 Bq/m^3 sind im gesamten Bundesgebiet zu finden. Auf Basis der vorliegenden Messdaten lässt sich schließen, dass etwa 10 - 12% der insgesamt 13 Millionen Ein- und Zweifamilienhäuser davon betroffen sind (Tabelle I.2-2). Radoninnenraumkonzentrationen von über 400 Bq/m^3 werden in etwa einem Prozent des Hausbestandes erwartet.

Tabelle I.2-2

Geschätzte Anzahl der Ein- und Zweifamilienhäuser mit Radonkonzentrationen über verschiedenen Schwellenwerten in Aufenthaltsräumen

Radonkonzentration in Bq/m^3	Relative Häufigkeit in %	Anzahl
> 100	10 - 12	1300000 - 1600000
> 200	1,6 - 3,1	220000 - 420000
> 400	0,3 - 0,9	40000 - 140000
> 1000	0,03 - 0,2	4000 - 25000

Die relative Häufigkeit erhöhter Radoninnenraumkonzentrationen ist allerdings regional unterschiedlich. Diese Unterschiede werden vor allem durch das Radonvorkommen innerhalb des Baugrundes bestimmt, das von der Geologie des Grundgebirges, der Art und Mächtigkeit der Bedeckung und tektonischen Störungen abhängig ist. Ein Maß für das Radonvorkommen ist die Radonkonzentration in der Bodenluft. Die Kartendarstellung (Abbildung I.2-2) zeigt den abschließenden Stand der bundesweiten, an 2347 geologisch repräsentativen Messorten durchgeführten Untersuchung der Bodenluft.

Die im einzelnen Gebäude vorkommende Radonkonzentration hängt darüber hinaus entscheidend von der Bauweise, vor allem von der Dichtheit des Hauses gegenüber dem Baugrund, der inneren Strukturierung des Gebäudes und dem technisch vorgegebenen sowie individuell bestimmten Heizungs-/Lüftungsregime ab.

Der Anteil des in mineralischen Baustoffen entstehenden und aus ihnen austretenden Radons an der Gesamtinnenraumkonzentration ist in der Regel gering. Vom Bundesamt für Strahlenschutz in den letzten Jahren durchgeführte Untersuchungen an in Deutschland aktuell für den Innenraum typischen, handelsüblichen Baumaterialien haben gezeigt, dass der baustoffbedingte Anteil an der Radonkonzentration in Innenräumen in der Regel unter 20 Bq/m^3 liegt. Dies führt zu einer Dosis von 0,4 mSv pro Jahr. Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass – wie national und international in der Vergangenheit beobachtet – in Einzelfällen Materialien eingesetzt werden, die zu einer höheren Radoninnenraumkonzentration führen.

3. Bewertung der Komponenten der natürlichen Strahlenexposition

3.1 Äußere und innere Strahlenexposition

Wie im Abschnitt I.2.1 dargestellt, beträgt der Mittelwert für die äußere Strahlenexposition mit Beiträgen für den Aufenthalt im Freien und in Häusern 0,7 mSv. Aus der Inhalation und Ingestion natürlicher Radionuklide ergibt sich bei üblichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten im Mittel eine jährliche effektive Dosis von etwa 1,4 mSv. In der Summe ergibt sich in Deutschland eine mittlere jährliche effektive Dosis von 2,1 mSv. Abbildung 1 zeigt die Beiträge einzelner Komponenten der Strahlenexposition zur mittleren jährlichen effektiven Dosis der Bevölkerung. In Anbetracht der Variationsbreite der einzelnen Komponenten, insbesondere der Exposition durch die Inhalation von Rn-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten, liegt die jährliche effektive Dosis im Mittel in Deutschland im Bereich zwischen 2 und 3 mSv. Im UNSCEAR Report 2008[2] wird für die durchschnittlichen Verhältnisse weltweit ein Wert von 2,4 mSv angegeben.

Die natürlichen Radionuklide in Baumaterialien und vor allem das Rn-222, das aus dem Baugrund in die Gebäude gelangt, sind Ursachen der bereits genannten Unterschiede der natürlichen Strahlenexposition. Weitere Informationen dazu und auch zu den Möglichkeiten, die dadurch verursachten Strahlenexpositionen zu begrenzen, werden in den folgenden Abschnitten I.3.2 und I.3.3 gegeben.

3.2 Baumaterialien

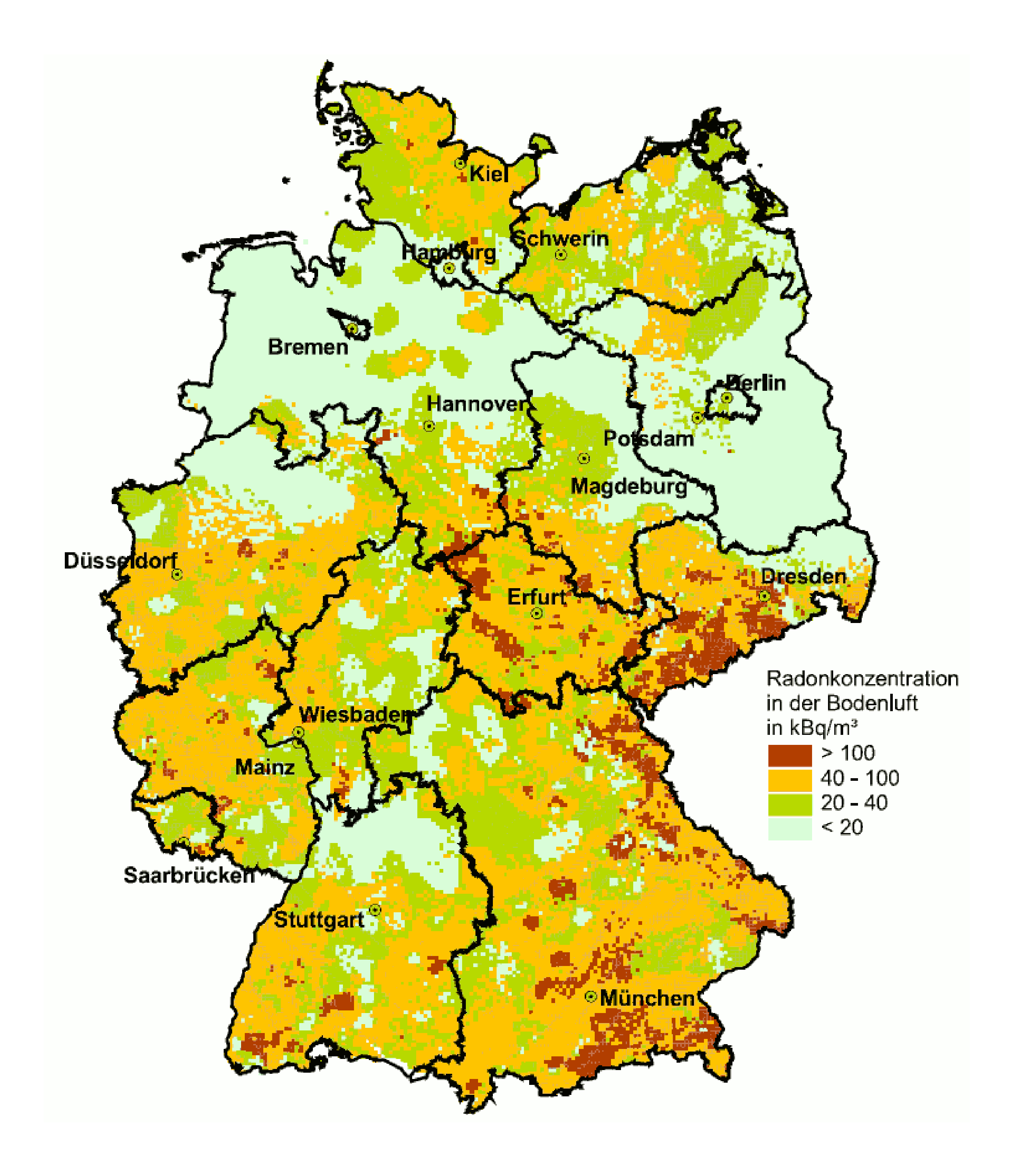
Die Ergebnisse des aktuellen Untersuchungsprogramms des BfS zur Radioaktivität von Baustoffen für Innenräume in Deutschland haben gezeigt, dass deren Beitrag zur externen Strahlenexposition in der Regel deutlich kleiner als der von der EU dafür vorgesehene Bewertungsmaßstab von 1 mSv pro Jahr ist. Wie aus früheren Messungen bekannt, zeigen Gips, Kalksandstein, Porenbeton, Mörtel, Putz und Estriche ausnahmslos niedrige spezifische Aktivitäten für die relevanten Radionuklide. Etwas höhere Werte sind erwartungsgemäß bei Baustoffen auf Basis von Ton (Ziegel) und bei Leichtbetonen infolge des Einsatzes von Bims beobachtet worden. Für diese sind in Einzelfällen auch Strahlenexpositionen von über 1 mSv/a nicht ausgeschlossen.

In Übereinstimmung mit den Vorgaben der gegenwärtig in Überarbeitung befindlichen Grundnormen der EU und den „Basic Safety Standards (BSS)“ der IAEA sollten deshalb auch in Deutschland Regelungen getroffen werden, um künftig nicht nur die Strahlenexposition durch Zusätze bestimmter industrieller Rückstände auf Werte unterhalb 1 mSv/a, sondern auch den Beitrag bereits natürlicherweise in den Ausgangsstoffen vorhandener Radioaktivität zu begrenzen.

2 United Nations, Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with 2 Scientific Annexes. Volume I

Abbildung I.2-2

Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe für die Bundesrepublik Deutschland



Daten aus der Bundeseinheitlichen Datei Radon in Gebäuden

Bundesamt für Strahlenschutz

3.3 Radon

Epidemiologische Erkenntnisse

In zahlreichen Studien wurde der Zusammenhang zwischen einer langjährigen Exposition durch Radon in Wohnungen und dem Auftreten von Lungenkrebs untersucht. Wer langjährig erhöhten Radonkonzentrationen ausgesetzt ist, unterliegt einem erhöhten Lungenkrebsrisiko. Die Expsition durch Radon ist nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache und damit der wichtigste umweltbedingte Risikofaktor für diese Krankheit. Etwa 40000 Personen in Deutschland sterben jährlich an Lungenkrebs, davon werden etwa 1900 Todesfälle dem Radon zugeschrieben.

Die gemeinsame Auswertung der in Deutschland durchgeführten Studien mit weiteren aus Europa und Nordamerika zeigt einen Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit steigender Radonkonzentration. Das Lungenkrebsrisiko steigt um etwa 10% pro zusätzlichen 100 Bq/m^3 Radonkonzentration und verdoppelt sich damit bei einer Innenraumkonzentration von etwa 1000 Bq/m^3. Dieser Zusammenhang ist auch für lebenslange Nichtraucher nachweisbar. Ein Schwellenwert, unter dem die langjährige Radonexposition keine oder gar eine gesundheitsfördernde Wirkung zeigte, konnte nicht beobachtet werden.

Im Jahr 2010 veröffentlichte die WHO eine Zusammenstellung wichtiger Innenraumschadstoffe als Teil der neuen Leitlinien zur Raumluftqualität. In dieser Zusammenfassung wird Radon als Innenraumschadstoff aufgeführt und das zusätzliche Lebenszeitrisiko, deshalb an Lungenkrebs zu erkranken, aus den epidemiologischen Studien abgeleitet. Es beträgt im Alter von 75 Jahren $0{,}6 \cdot 10^{-5}$ pro Bq/m^3, d.h. sechs Fälle pro einer Million Betroffener für lebenslange Nichtraucher bzw. $15 \cdot 10^{-5}$ pro Bq/m^3 für Raucher. Das Risiko für Ex-Raucher liegt dazwischen und verringert sich mit zunehmender Abstinenzdauer. Die Radonkonzentration, die mit einem zusätzlichen Lebenszeitrisiko von 1 pro 100 oder 1 pro 1000 einhergeht, beträgt dementsprechend 67 Bq/m^3 bzw. 6,7 Bq/m^3 für Raucher und 1670 Bq/m^3 bzw. 167 Bq/m^3 für lebenslange Nichtraucher.

Maßnahmen (Radonregelung)

BMU und BfS empfehlen, Radonkonzentrationen von über 100 Bq/m^3 Luft in Aufenthaltsräumen durch geeignete Maßnahmen zu vermeiden. Art und Effizienz der Maßnahmen sollten bei Neubauten der Standortsituation gerecht werden und sich bei der Sanierung bestehender Gebäude an der Höhe der gemessenen Radonkonzentration orientieren. Ob ein Haus eine erhöhte Radonraumluftkonzentration aufweist oder eine Sanierung erfolgreich war, kann nur durch Messungen festgestellt werden.

Bei der Planung und Ausführung von energetischen Sanierungen ist darauf zu achten, dass die Verringerung der Luftwechselrate zu einer Erhöhung der Radonkonzentration im Innenraum führen kann.

In Deutschland existiert bislang keine gesetzliche Regelung, die die Radonkonzentration in Häusern, öffentlichen Gebäuden und an allgemeinen Arbeitsplätzen beschränkt. Die Weltgesundheitsorganisation WHO empfiehlt in ihrem Radon-Handbuch, das im Herbst 2009 veröffentlicht wurde, den auch von BMU und BfS vorgeschlagenen Referenzwert von 100 Bq/m^3 einzuhalten. Selbst unter schwierigen Randbedingungen sollte der Wert nicht über 300 Bq/m^3 liegen. Bei Neubauten sind Maßnahmen einzusetzen, die zu einer Konzentration deutlich unter 100 Bq/m^3 führen sollten.

Im Jahr 2010 wurde im Auftrag des BfS für Deutschland erstmalig eine Kosten-Nutzen-Analyse mit unterschiedlichen Regelungsszenarien durchgeführt.

Aus der Perspektive der durch etablierte Methoden ermittelten Kosteneffektivität ist festzustellen, dass für Deutschland allgemein die Sanierung bestehender Gebäude mit einem verpflichtenden Eingreifwert von 100 Bq/m^3 mit anschließender Erfolgskontrolle die geringsten Kosten verursacht. Für Radon-Hochrisiko-Gebiete ist das radonsichere Bauen hingegen vorzuziehen.

Auf Grund der epidemiologischen Erkenntnisse hat die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) im Herbst 2009 ihre Risikobewertung angepasst und den von ihr empfohlenen maximalen Referenzwert von 600 Bq/m^3 auf 300 Bq/m^3 halbiert.

Die Internationale Atomenergieorganisation IAEA in ihren „Basic Safety Standards“ und die Europäische Union in den Novellierungen ihrer Grundnormen des Strahlenschutzes planen entsprechende Regelungen, die im Falle der EU als EURATOM-Direktive in nationales Recht umzusetzen sein werden. Die vorgeschlagenen Referenzwerte orientieren sich an den Empfehlungen der ICRP.

Zur Einhaltung dieser Referenzwerte sollte der baustoffbedingte Anteil der Radoninnenraumkonzentration unter 20 Bq/m^3 bleiben. Dazu fehlt jedoch bislang eine standardisierte Mess- und Bewertungsmethode.

II. Zivilisatorische Strahlenexposition

1. Kernkraftwerke, Forschungszentren, Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe

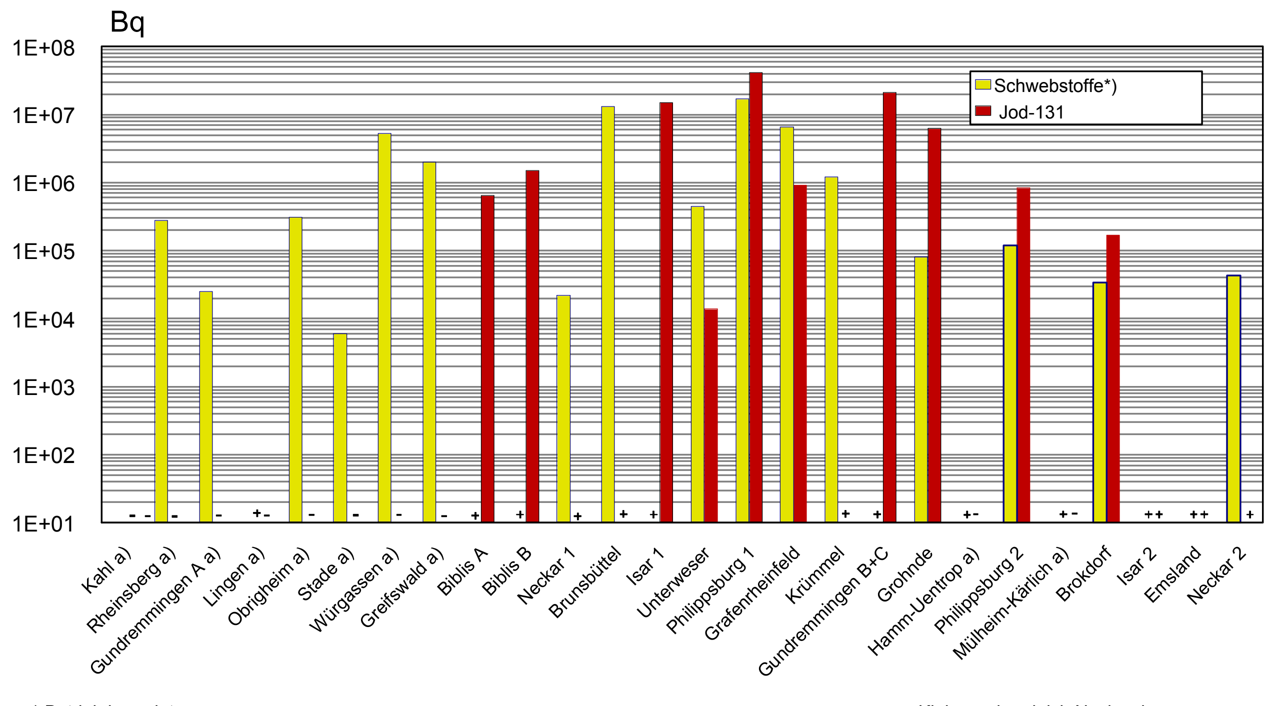
1.1 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen werden nach der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ von den Betreibern der einzelnen Anlagen ermittelt und den zuständigen Aufsichtsbehörden berichtet. Einzelheiten über Umfang der Messungen, Messverfahren, Probeentnahme, Instrumentierung und Dokumentation der Messergebnisse sind in Regeln des Kerntechnischen Ausschusses festgelegt. Die von den Betreibern der Anlagen vorzunehmenden Messungen werden durch Kontrollmessungen behördlich beauftragter Sachverständiger entsprechend der Richtlinie über die „Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken“ überprüft.

Gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) werden in der bodennahen Luft in der Umgebung von Kernkraftwer-

Abbildung II.1-1

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2010
Schwebstoffe und Jod-131



a) Betrieb beendet
*) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschl. Strontium und Alphastrahler, früher "Aerosole"

\+ Kleiner oder gleich Nachweisgrenze
\- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung II.1-2

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2010
(C-14)O_2, Tritium und Edelgase

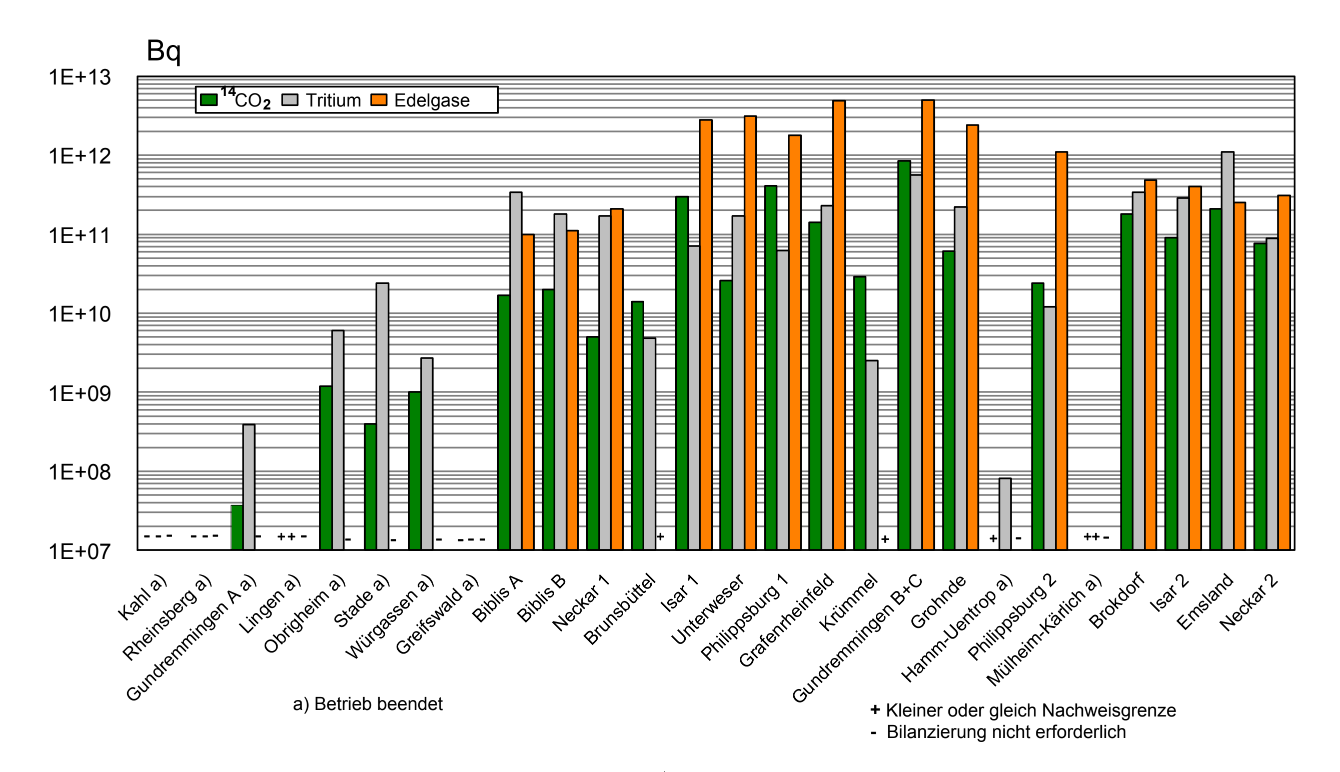


Abbildung II.1-3

Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 2010
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium

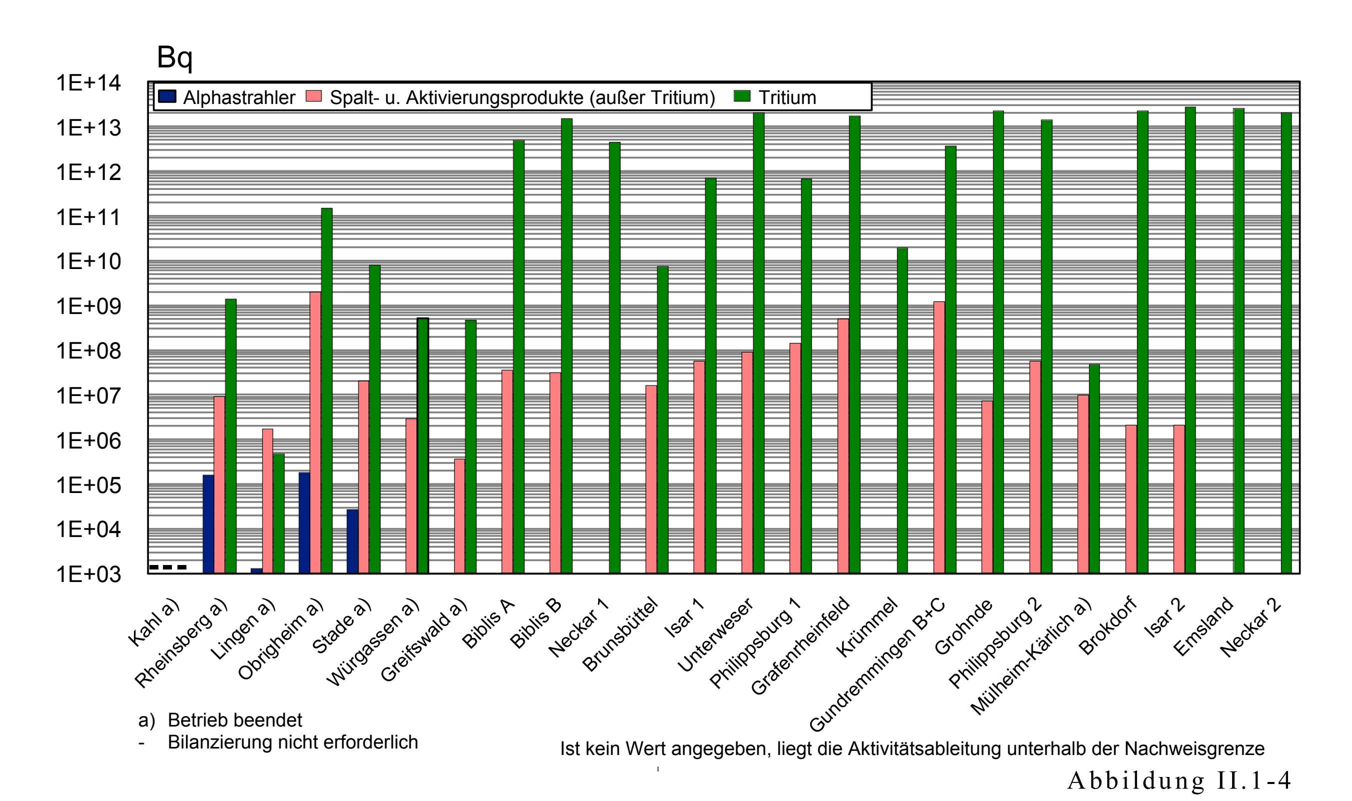
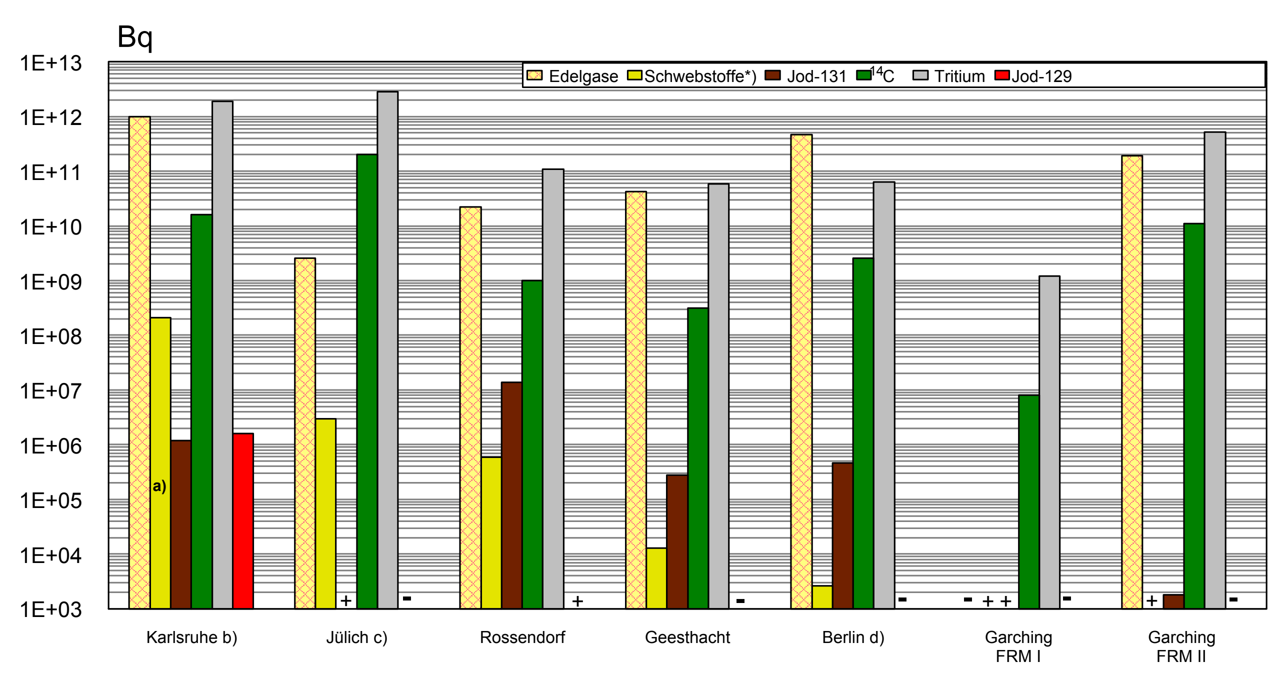


Abbildung II.1-4

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2010
Schwebstoffe, Jod-131 und Jod-129, C-14, Tritium und Edelgase



a) Davon Alphastrahler: 2,3 E+06 Bq
b) Einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage
c) Einschließlich Versuchsreaktor AVR
d) Einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle

*) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschl. Strontium und Alphastrahler
+ Kleiner oder gleich Nachweisgrenze
- Bilanzierung nicht erforderlich

ken die Aktivitätskonzentrationen von gasförmigem I-131 und schwebstoffgebundenen Radionukliden gammaspektrometrisch bestimmt. Darüber hinaus erfolgt die kontinuierliche Erfassung der Gamma-Ortsdosisleistung, die durch Messungen der Gamma-Ortsdosis mit integrierenden Dosimetern ergänzt wird (Tabelle II.1-2 und Tabelle II.2-1). Für Brennelementfabriken, Zwischen- und Endlager ist im bestimmungsgemäßen Betrieb neben der Überwachung der Gamma-Ortsdosis die Überwachung der Aktivitätskonzentration von Alphastrahlern (integral bzw. nuklidspezifisch) in der bodennahen Luft und im Niederschlag vorgesehen. Zusätzlich wird die Neutronenstrahlung in der Umgebung erfasst. Bei der Umgebungsüberwachung von Endlagern wird, abhängig von den mittleren integralen Aktivitätskonzentrationen im Fortluftstrom, ggf. eine gammaspektrometrische Bestimmung der Aktivitätskonzentration schwebstoffgebundener Radionuklide durchgeführt.

Tabelle II.1-1

Kerntechnische Forschungseinrichtungen in Deutschland

Einrichtung	Standort
Karlsruher Institut für Technologie (KIT, bisher Forschungszentrum Karlsruhe)	Karlsruhe
Forschungszentrum Jülich	Jülich
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD)	Rossendorf
Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf (VKTA)	Rossendorf
GKSS-Forschungszentrum	Geesthacht
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (bisher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI)	Berlin
Forschungsneutronenquelle Heinz-Maier-Leibnitz (FRM I+II)	Garching

Die für 2010 ermittelten Jahresableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser von Kernkraftwerken sind in den Abbildungen II.1-1 bis II.1-3 angegeben und nach Nuklidgruppen aufgeschlüsselt. Sie liegen in der Größenordnung der Ableitungen der Vorjahre und unterschreiten deutlich die jeweiligen Genehmigungswerte. Im Versuchsatomkraftwerk Kahl wurden die Messungen 2009 auf Veranlassung der zuständigen Aufsichtsbehörde eingestellt.

C-14 (Kohlenstoff-14) wird in Abbildung II.1-2 in Form von radioaktivem Kohlenstoffdioxid angegeben. Kohlenstoffdioxid gelangt über Assimilation in die Nahrungskette und führt damit zu einer Ingestionsdosis. Besonders aus Druckwasserreaktoren wird zusätzlich organisch gebundenes C-14 abgeleitet, dessen Dosisbeitrag aber vernachlässigbar ist, weil organisch gebundenes C-14 nicht über Assimilation in die Nahrungskette gelangt. Die Gesamtsumme an abgeleitetem C-14 über die Fortluft im Jahr 2010 beträgt an den in Abbildung II.1-2 aufgeführten Standorten $4{,}1 \cdot 10^{12}$ Bq und liegt dabei etwas unter dem Vorjahreswert von $4{,}6 \cdot 10^{12}$ Bq.

In Abbildung II.1-4 sind die Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, Berlin und Garching für das Jahr 2010 zusammengefasst. Eine Übersicht über die Forschungszentren gibt Tabelle II.1-1. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren betragen im Mittel nur einige Prozent der Ableitungen von Kernkraftwerken. In Abbildung II.1-5 sind die entsprechenden Abwasserdaten im Jahr 2010 zusammengestellt. Tabelle II.1-2 enthält Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser sowie der Direktstrahlung aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben. Die Messwerte zur Direktstrahlung beinhalten den natürlichen Untergrund.

Im benachbarten Ausland waren Ende 2010 in Grenznähe, d.h. bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze, die in Tabelle II.1-3 aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg in der Schweiz wurde trotz der größeren Entfernung zur deutschen Grenze ebenfalls aufgeführt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die Jahresemissionen kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern informiert die Kommission der Europäischen Union in den Berichten „Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Community“ (ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/publication/164.pdf).

Tabelle II.1-2

Ableitung radioaktiver Stoffe (Alphastrahler) mit Fortluft und Abwasser sowie Direktstrahlung* aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2010

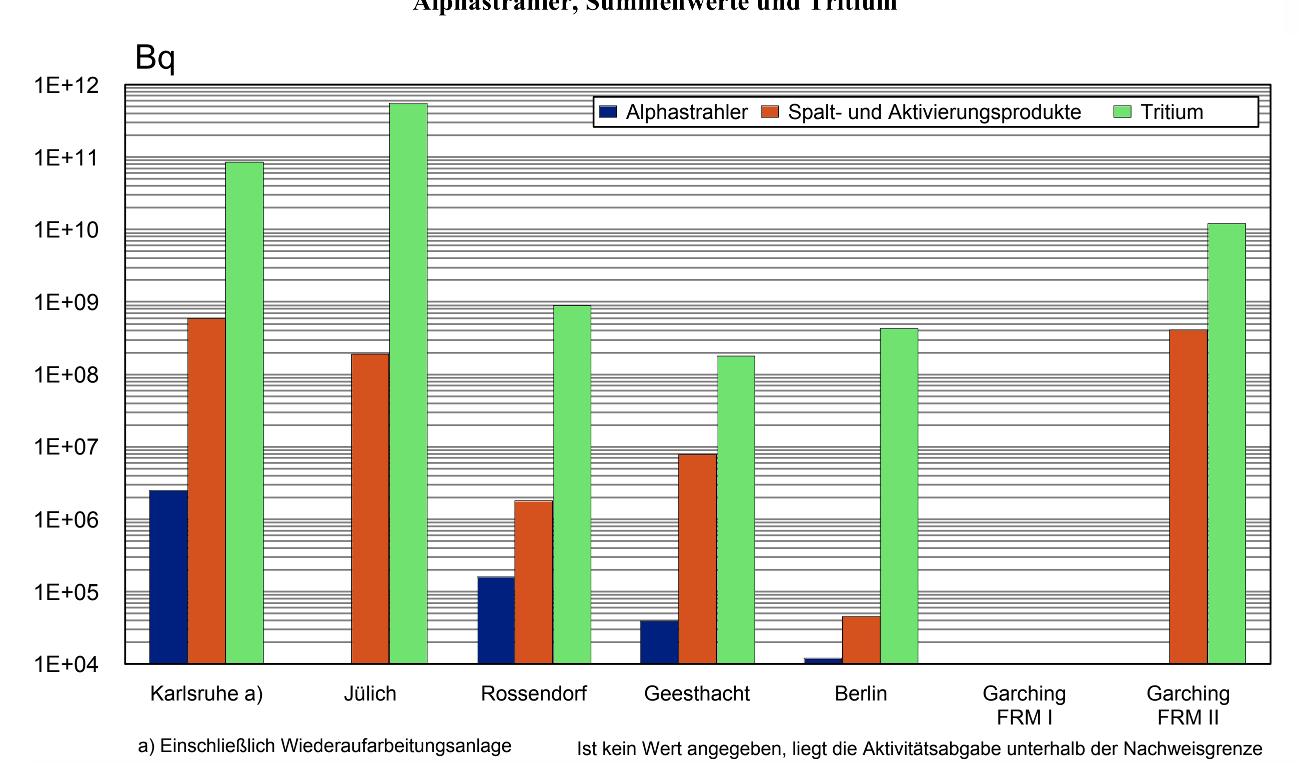
Betrieb	Fortluft	Abwasser	Gamma-Ortsdosis	Neutronen-Ortsdosis
	Aktivität in Bq		mSv/a	mSv/a
ANF GmbH Lingen	$< 1{,}5\ 10^4$	-	0,73 (MP 4)	< 0,1 (alle MP)
URENCO D Gronau	$7{,}2\ 10^4$	$4{,}1\ 10^3$	0,8 (MP 3)	< 0,3 (alle MP)

* Die Messwerte beinhalten den natürlichen Untergrund - kleiner als Nachweisgrenze

MP = Messpunkt

Abbildung II.1-5

Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2010
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium



Die Ableitungen der schweizerischen Anlagen sind im Strahlenschutzbericht 2010 des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI) veröffentlicht (static.ensi.ch/1316522669/strahlenschutzberich_2010_web.pdf).

1.2 Berechnete obere Werte der Strahlenexposition

Aus den Ergebnissen der Emissionsüberwachung wird von der Leitstelle Fortluft des Bundesamtes für Strahlenschutz die Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen für die in der StrlSchV definierte Referenzperson nach dem Verfahren ermittelt, das im Entwurf vom 13.05.2005 der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen“ festgelegt ist (hier „oberer Wert“ genannt). Für die Forschungszentren hat das BfS die Erstellung von Ausbreitungsrechnungen und Dosisabschätzungen nicht übernommen. Diese werden deshalb von den Forschungszentren entsprechend der REI selbst durchgeführt. Die Dosisangaben für Forschungszentren sind deswegen überwie-

Tabelle II.1-3

Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland

Land	Anlage/Standort	Entfernung zur deutschen Grenze
Schweiz	Kernkraftwerk Beznau (2 Blöcke) Paul Scherrer Institut Villigen/Würenlingen (Kernforschung) Kernkraftwerk Mühleberg Kernkraftwerk Gösgen-Däniken Kernkraftwerk Leibstadt	ca. 6 km ca. 7 km ca. 70 km ca. 20 km ca. 0,5 km
Frankreich	Kernkraftwerk Fessenheim (2 Blöcke) Kernkraftwerk Cattenom (4 Blöcke)	ca. 1,5 km ca. 12 km
Niederlande	Kernkraftwerk Dodewaard (Betrieb beendet) Urananreicherungsanlage Almelo	ca. 20 km ca. 15 km

gend deren Jahresberichten entnommen. Die in den Abbildungen II.1-6 bis II.1-8 angegebenen Expositionswerte stellen obere Werte dar, die gemäß § 47 Abs. 2 der StrlSchV für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die Referenzperson ist eine fiktive Person, für die in der StrlSchV (Anlage VII, Teil A bis C) die zu berücksichtigenden Expositionspfade, Lebensgewohnheiten und übrigen Annahmen festgelegt sind mit dem Ziel, dass bei deren Anwendung die Strahlenexposition des Menschen nicht unterschätzt wird. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen auf Grund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist.

Für die Zwecke der Berichterstattung werden hier nur die Dosen für die kritischen Gruppen und Organe angegeben. In Fällen, in denen die Strahlenbelastung von Säuglingen unter der von Kleinkindern liegt, wird diese nicht angegeben. Außerdem werden Organdosen nur für das am meisten betroffene Organ angegeben.

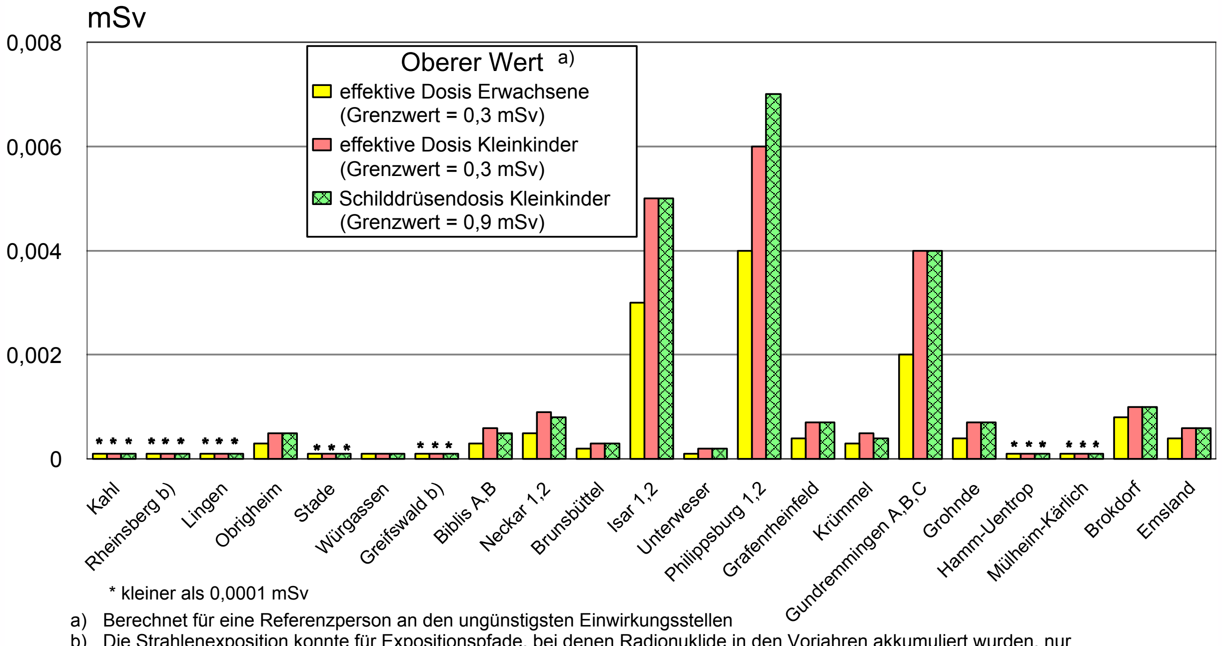
Die Ergebnisse der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2010 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft enthält Abbildung II.1-6. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene (Altersgruppe über 17 Jahre) und Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder. Abbildung II.1-6 zeigt als größten berechneten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 0,004 mSv (unter 2 % des zulässigen Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) beim Standort Philippsburg sowie für Kleinkinder 0,006 mSv (2 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV). Der größte berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,007 mSv (unter 1% des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) ebenfalls bei Philippsburg. Diese maximalen Werte haben sich gegenüber dem Vorjahr geringfügig erhöht.

In Abbildung II.1-7 sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ebenfalls ungünstige Verzehrs- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wurde, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte berechnete Wert der effektiven Dosis beträgt für Erwachsene 0,001 mSv und für Kleinkinder 0,0018 mSv an dem Standort des Kernkraftwerkes Emsland. Dies entspricht etwa 0,3 % bzw. 0,5 % des Dosisgrenzwertes.

Gemäß des Entwurfes der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche als Emittenten in Frage kommende kerntechnische Anlagen berücksichtigt wurden. Die höchste effektive

Abbildung II.1-6

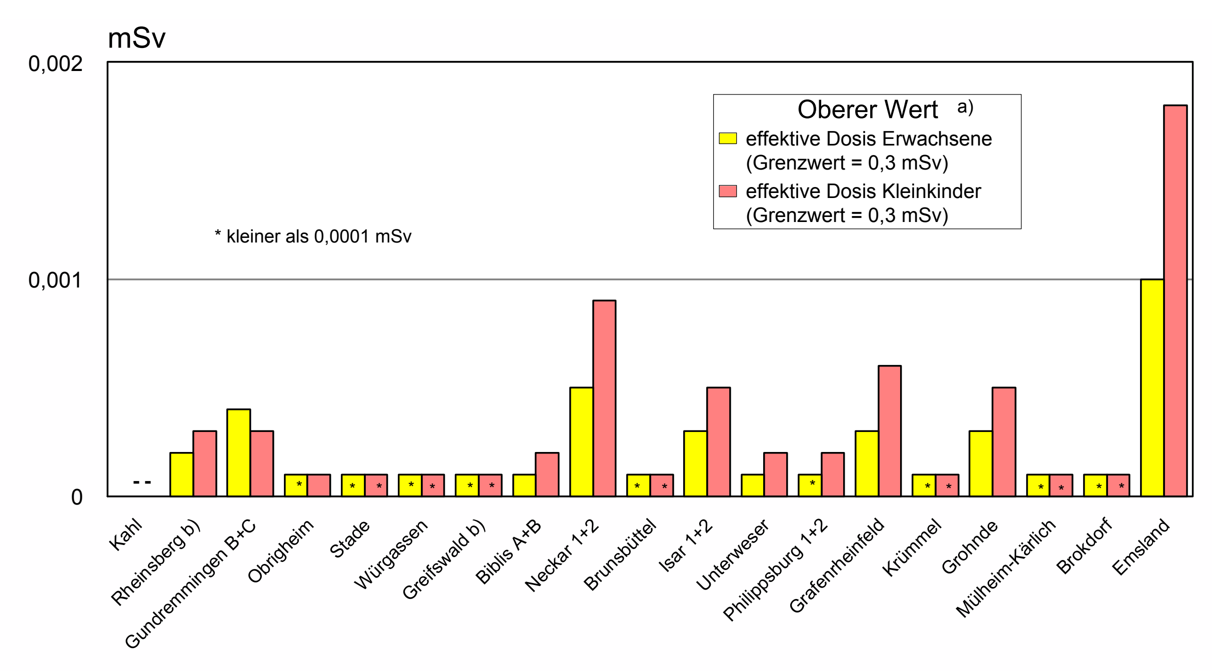
Strahlenexposition im Jahr 2010 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft



a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen
b) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken Werte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Jahren vor 1990 (Greifswald) bzw. vor 1984 (Rheinsberg) nicht vorliegen

Abbildung II.1-7

Strahlenexposition im Jahr 2010 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser



a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen
b) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser der Jahre vor 1990 nicht vorliegen
\- Bilanzierung nicht erforderlich

Dosis wurde mit etwa 0,0013 mSv für Kleinkinder im Mündungsgebiet des Neckar ermittelt. Die effektive Dosis für Erwachsene betrug hier 0,0008 mSv. Am Unterlauf der Weser wurden für Erwachsene 0,0003 mSv und für Kleinkinder 0,0005 mSv berechnet. An der Donau liegen die effektiven Dosen bei 0,0004 mSv für Erwachsene und 0,0007 mSv für Kleinkinder. Die entsprechenden Werte am Main sind 0,0002 mSv und 0,0004 mSv. Am Rhein wurden effektive Dosen von 0,0001 mSv ermittelt. Zu den höheren Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung durch die auf Überschwemmungsgebieten abgelagerten Sedimente bei, die im Wesentlichen in früheren Jahren abgelagert wurden.

In Abbildung II.1-8 sind berechnete Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, Berlin und Garching angegeben. Die Abbildung weist für die effektive Dosis im Jahr 2010 als höchsten Wert 0,0019 mSv (unter 1 % des Grenzwertes) für Erwachsene in Karlsruhe aus sowie 0,0023 mSv (unter 1 % des Grenzwertes) für Kleinkinder in Jülich. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,0025 mSv (unter 1 % des Grenzwertes) am Standort Karlsruhe.

Für die Strahlenbelastung über das Abwasser aus Forschungszentren ergeben sich im Jahr 2010 in Karlsruhe obere Werte von 0,0001 mSv für Erwachsene und < 0,0001 mSv für Kleinkinder. In Jülich sind die entsprechenden Werte 0,002 mSv bzw. 0,003 mSv. Die Angaben stammen aus den jeweiligen Jahresberichten.

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Lingen und Gronau liegen die durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder unter 0,0001 mSv, der obere Wert der Knochenoberflächendosis für Kleinkinder liegt bei 0,0002 mSv.

Die durch die Ableitungen von Alphastrahlern mit dem Abwasser bedingten oberen Werte der effektiven Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender Betriebe liegen wie im Vorjahr auch im Jahr 2010 jeweils unter 0,0001 mSv.

Der Betrieb grenznaher kerntechnischer Anlagen in Nachbarländern (Tabelle II.1-3) führte 2010 unter Anwendung des Entwurfs der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV auf dem Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Dosis einer erwachsenen Referenzperson von unter 0,01 mSv. Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade errechnen sich obere Werte von etwa 0,01 mSv pro Jahr; den größten Beitrag zur Schilddrüsendosis liefert der Weide-Kuh-Milch-Pfad. Bei den im Rahmen der Umgebungsüberwachung durchgeführten Messungen des Radiojodgehaltes von Lebensmittelproben aus grenznahen Anbaugebieten konnte im Jahr 2010 Jod-131 nicht nachgewiesen werden.

Abbildung II.1-8

Strahlenexposition im Jahr 2010 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft

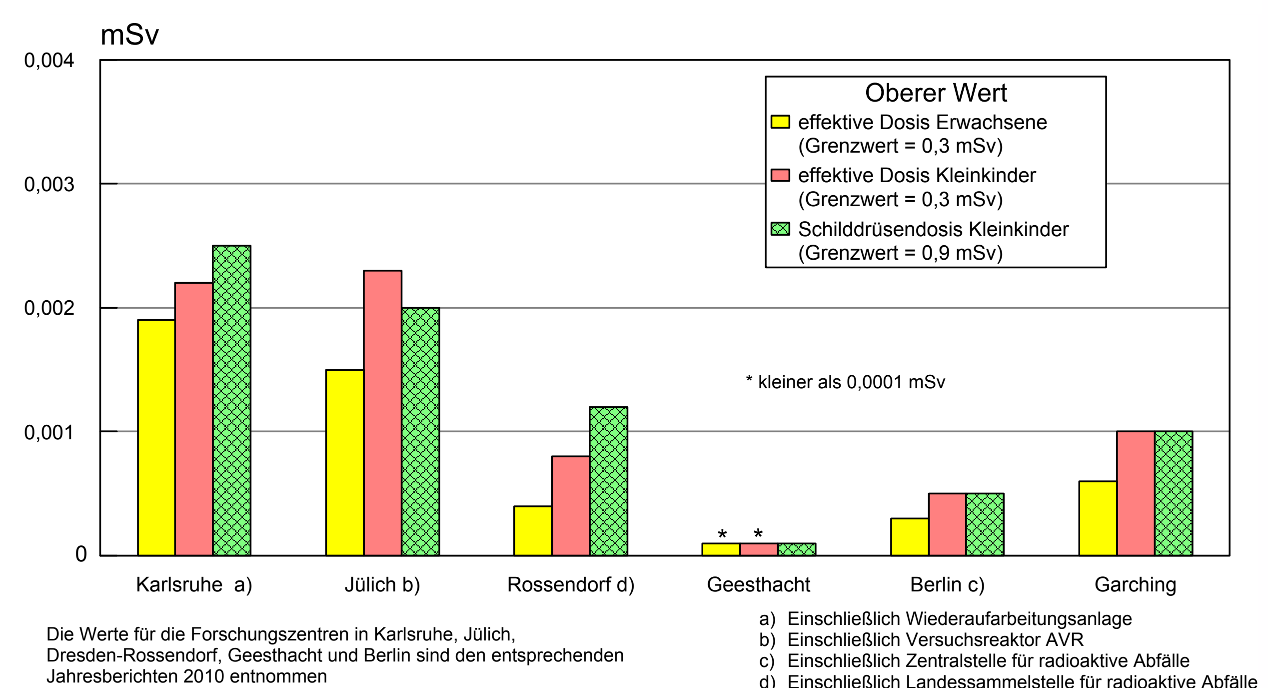


Tabelle II.2-1

Direktstrahlung* aus zentralen Zwischenlagern im Jahr 2010

Zwischenlager	Gamma-Ortsdosis	Neutronen-Ortsdosis
	mSv/a	mSv/a
Transportbehälterlager Ahaus	0,48 (MP 3,9)	< 0,1 (alle MP)
Zentrales Zwischenlager Nord (Rubenow)	0,81 (MP 17)	0,13 (MP 17)

MP = Messpunkt

* Die Messwerte beinhalten den natürlichen Untergrund

2. Sonstige kerntechnische Anlagen

2.1 Zentrale und dezentrale Zwischenlager

Bei den in Betrieb befindlichen zentralen Zwischenlagern für bestrahlte Brennelemente wie dem Transportbehälterlager (TBL) Ahaus, dem TBL Gorleben[3] sowie dem Zwischenlager Nord (Rubenow bei Greifswald) treten im Normalbetrieb keine messbaren Emissionen radioaktiver Stoffe auf. Daten zur Direktstrahlung aus diesen Lagern enthält Tabelle II.1-2. Die Messwerte beinhalten den natürlichen Untergrund. Die Daten für das Jahr 2010 für das TBL Gorleben werden zurzeit noch geprüft.

Dasselbe gilt auch für die in Betrieb befindlichen dezentralen Standort-Zwischenlager an den Kernkraftwerksstandorten. Daher ist die hieraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung vernachlässigbar gering. Messbar ist je nach Lagerbelegung lediglich die Dosis bzw. Dosisleistung der Gamma- und Neutronenstrahlung in unmittelbarer Nähe dieser Anlagen. Sie wird zusammen mit der Direktstrahlung der entsprechenden Kernkraftwerksanlage erfasst. Abbildung II.2-1 zeigt eine Übersicht über die in Betrieb befindlichen Zwischenlager, die Anzahl der Stellplätze und die Belegung in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2010.

Bei Einrichtungen wie z.B. Abklingbecken für Brennelemente oder Anlagen zur Abfallkonditionierung, die sich innerhalb von Kernkraftwerken, Kernforschungszentren und sonstigen kerntechnischen Betrieben befinden und in deren Fortluftführung bzw. Fortluftplan und ggf. Abwasserbehandlung einbezogen sind, werden die Emissionen in den bilanzierten Ableitungen des jeweiligen Standortes erfasst und bei der Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung berücksichtigt.

2.2 Endlager und Schachtanlage Asse

Morsleben

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist in Abbildung II.2-2 dargestellt. Die daraus resultierende Strahlenexposition zeigt

[3] Das TBL Gorleben ist zusätzlich für die Aufbewahrung hochradioaktiver Abfälle (HAW-Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken genehmigt.

Abbildung II.2-1

Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente in Deutschland im Jahr 2010 mit Anzahl der Stellplätze (Belegung in Klammern) (Stand 31.12.2010)

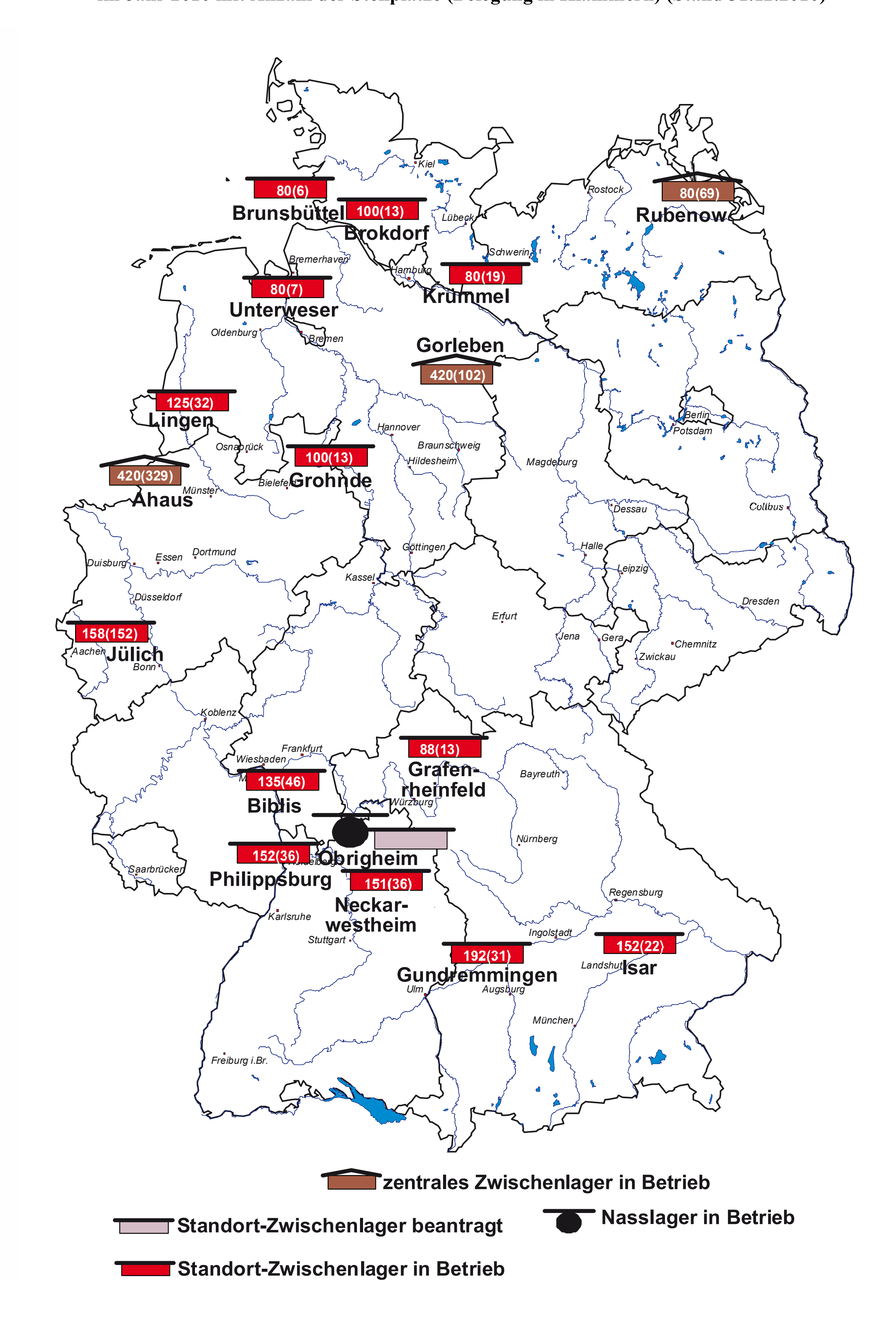


Abbildung II.2-3. Der ermittelte Wert der effektiven Dosis für den Erwachsenen betrug 0,0001 mSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,0003 mSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 0,0009 mSv; dies sind 0,05%, 0,11% bzw. 0,30% des Grenzwertes nach StrlSchV. Die Dosis für das kritische Organ (rotes Knochenmark für Kleinkinder, Säuglinge und Erwachsene) errechnete sich zu 0,0003 mSv für Erwachsene, 0,0009 mSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) und 0,0027 mSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,1%, 0,3% bzw. 0,9% des Grenzwertes). Die höheren Dosiswerte für mit Muttermilch ernährte Säuglinge gegenüber Kleinkindern sind darauf zurückzuführen, dass durch die Mutter aufgenommene Radionuklide an das gestillte Kind weitergegeben werden. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 2010 mit dem Abwasser ermittelte Wert der effektiven Dosis liegt unterhalb von 0,0001 mSv für Erwachsene, Kleinkinder und Säuglinge. Bei den Berechnungen wurde für nicht identifizierte Betastrahler der ungünstigste Fall, dass es sich um Sr-90 handelt, angenommen.

Schachtanlage Asse

In der Schachtanlage Asse II wurden zwischen 1967 und 1978 insgesamt rund 126000 Fässer mit schwachradioaktiven Abfällen (LAW) und mittelradioaktiven Abfällen (MAW) eingelagert. Die schwachradioaktiven Abfälle lagern in zwölf Abbaukammern auf der 750- bzw. 725-m-Sohle. Die mittelradioaktiven Abfälle lagern in einer Kammer auf der 511-m-Sohle. Eine zum 31.12.2009 durchgeführte Bewertung des Abfalls ergab ein Gesamtinventar von 2,9 x 10^{15} Bq, wobei 79% dieser Gesamtaktivität auf schwachradioaktive Abfälle entfallen.

Ab dem 1. Januar 2009 übernahm das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) vom Helmholtz Zentrum München (HMGU) die Betreiberschaft für die Schachtanlage Asse II. Mit der Übernahmewurde die Schachtanlage verfahrensrechtlich wie ein Endlager für radioaktive Abfälle behandelt. Entsprechend wurde auch das Berechnungsverfahren für die potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser dem für kerntechnische Anlagen üblichen Verfahren angepasst.

In Abbildung II.2-2 sind die im Jahr 2010 mit der Fortluft und dem Abwasser aus der Schachtanlage Asse II abgeleiteten radioaktiven Stoffe dargestellt.

Im Jahr 2010 wurden aus der Schachtanlage Asse keine radioaktiven Stoffe mit dem Abwasser abgeleitet. Die Strahlenexposition in der Umgebung der Schachtanlage Asse resultiert daher ausschließlich aus Ableitungen über den Luftpfad.

Die Strahlenexposition in Folge der Ableitungen ist in Abbildung II.2-3 aufgeführt.

Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft ermittelte obere Wert der effektiven Dosis betrug 2010 für Erwachsene 0,012 mSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,016 mSv und für Säuglinge 0,020 mSv. Dies sind ca. 4,0 %, 5,3 % und 6,7 % des Grenzwertes gemäß Strahlenschutzverordnung. Die Dosis für das kritische Organ (rotes Knochenmark für Säuglinge unter einem Jahr und Kleinkinder im Alter von 1 bis 2 Jahren; Knochenoberfläche für Erwachsene) wurde mit 0,039 mSv für Säuglinge, 0,022 mSv für Kleinkinder und 0,055 mSv für Erwachsene ermittelt. Dies sind ca. 13,0%, 7,3% und 3,1% des zulässigen Grenzwertes.

3. Zusammenfassende Bewertung für kerntechnische Anlagen

Aus den für das Jahr 2010 gemessenen Werten für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen geht hervor, dass die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten wurden. Die tatsächlichen jährlichen Ableitungen liegen im Allgemeinen deutlich unter den Genehmigungswerten, wie beispielsweise für Kernkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der Abbildungen II.1-1 bzw. II.1-2 und üblichen Genehmigungswerten von ca. 10^{15} Bq für Edelgase, ca. $3 \cdot 10^{10}$ Bq für Schwebstoffe und ca. 10^{10} Bq für Jod-131 zeigt.

Auch zusätzlich auftretende Strahlenexposition z.B. durch Direktstrahlung führt nicht zu einer Überschreitung des Dosisgrenzwertes von 1 mSv nach § 46 der StrlSchV. Die Genehmigungswerte können niedriger liegen. Die aktuellen Werte für Ortsdosisleistung in der Umgebung von Kernkraftwerken und Forschungszentren sind dem ausführlichen Jahresbericht des BMU über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zu entnehmen.

Die aus den Jahresableitungen für eine Referenzperson berechneten Werte der Strahlenexposition im Jahr 2010 unterschreiten die in § 47 StrlSchV festgelegten Dosisgrenzwerte und betragen bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 10% des jeweiligen Dosisgrenzwertes mit Ausnahme der Schachtanlage Asse II, bei der 13% des Organdosisgrenzwertes erreicht werden können. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis einer Person der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch 2010 deutlich unter 0,01 mSv pro Jahr.

4. Umweltradioaktivität aus Bergbau und Sanierung durch die Wismut GmbH

Die bei der Sanierung der Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus durch die Wismut GmbH unvermeidlich anfallenden radioaktiven Stoffe werden mit den Grubenwässern und der Fortluft in die Umwelt abgeleitet. Für diese Ableitungen werden von den zuständigen Landesbehörden Grenzwerte festgelegt, deren Einhaltung die Wismut GmbH gemäß der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten – REI Bergbau“ nachweisen muss. Die für das

Abbildung II.2-2

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben und der Schachtanlage Asse im Jahr 2010

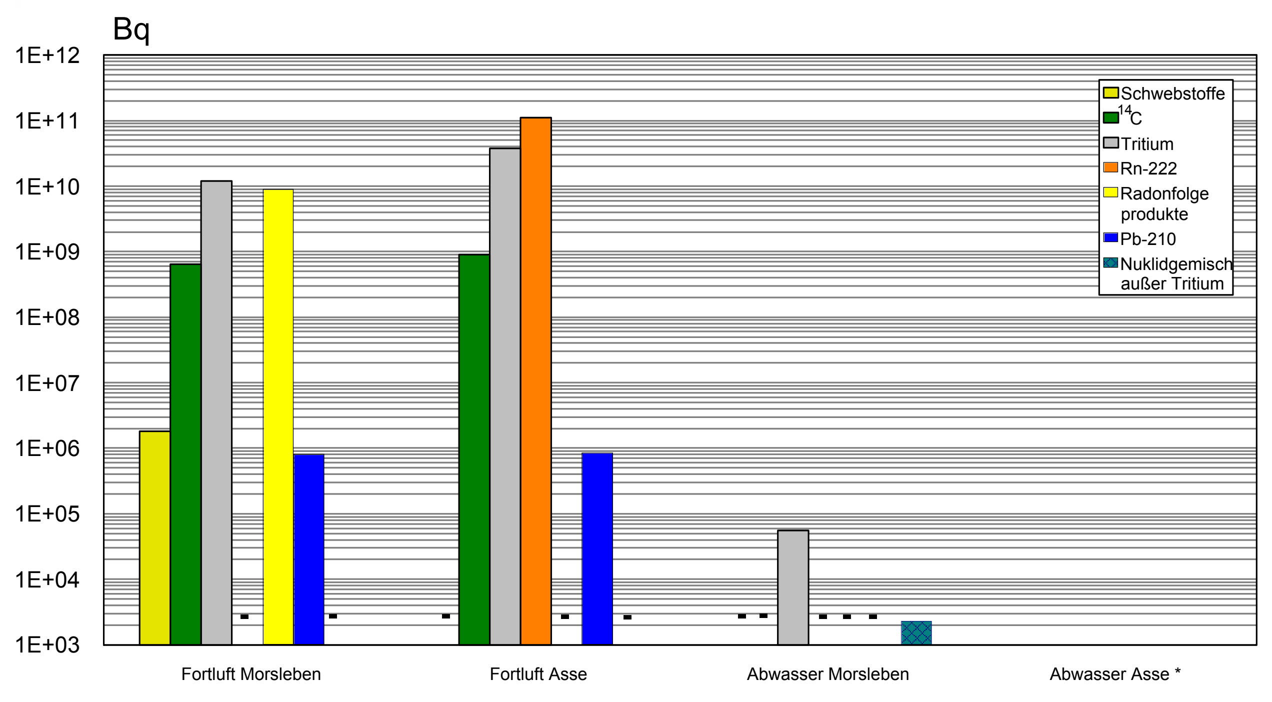


Abbildung II.2-3

Strahlenexposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben und der Schachtanlage Asse durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2010

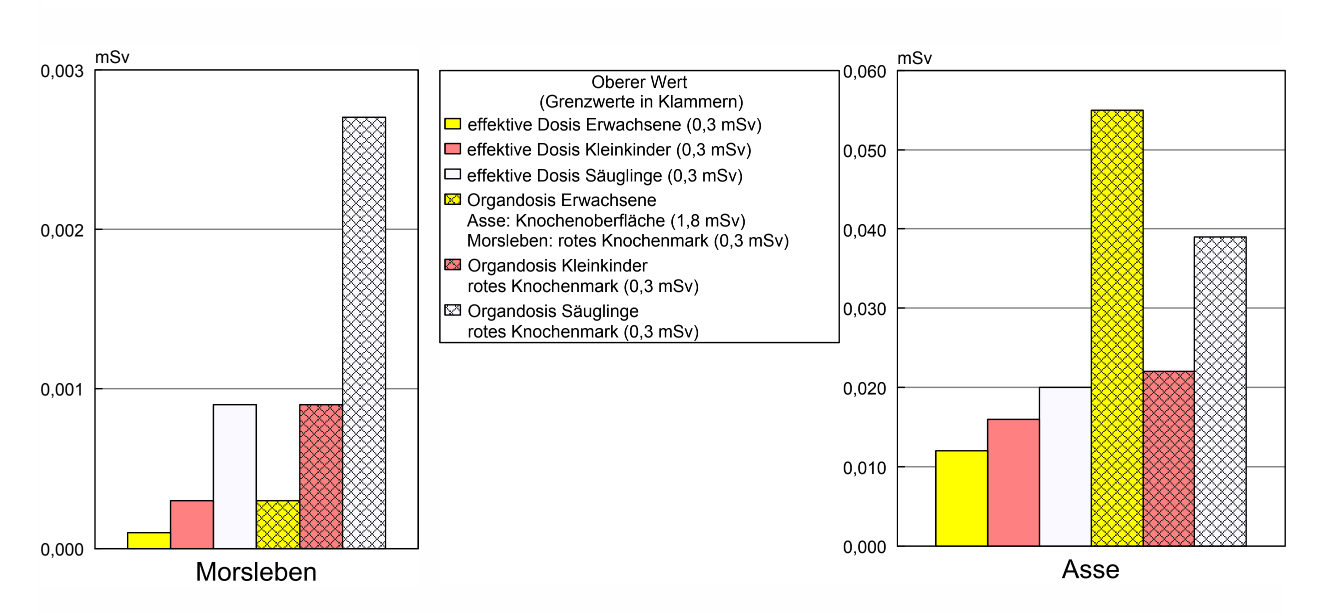
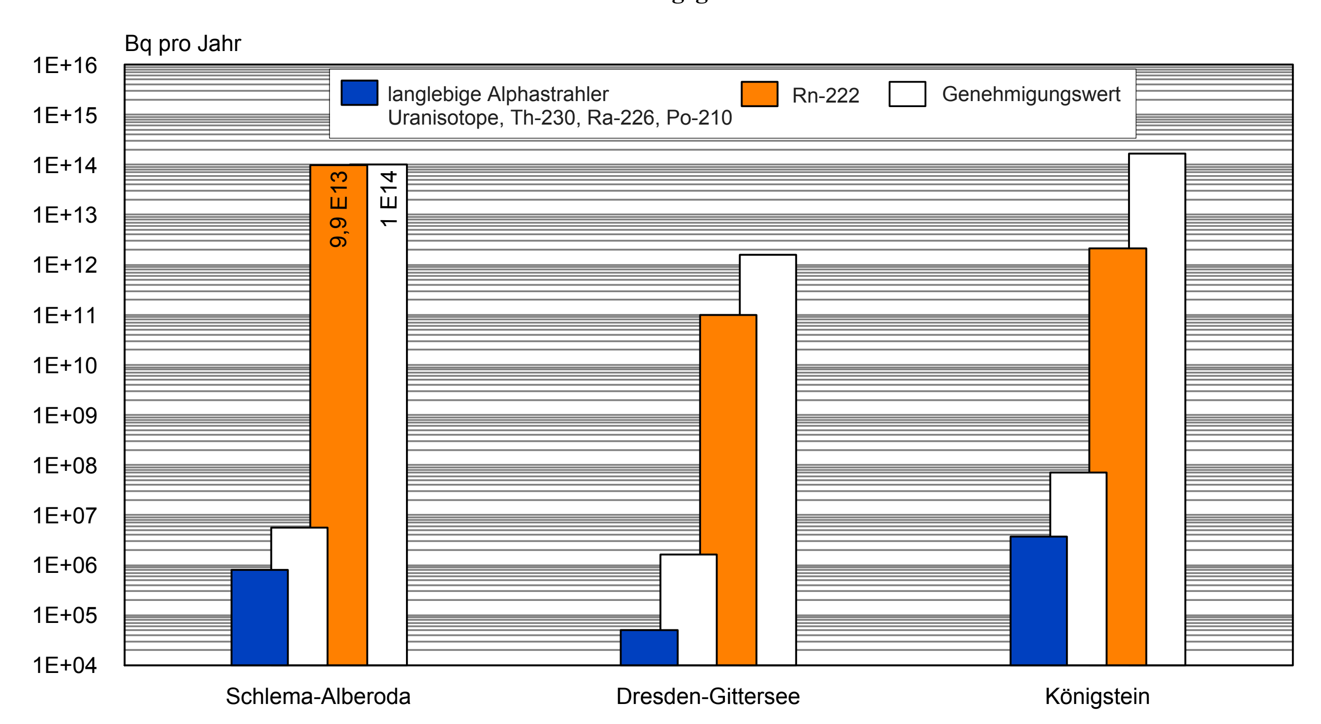


Abbildung II.4-1

Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Fortluft in die Atmosphäre aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2010



Jahr 2010 ermittelten Werte der Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Abwässern und Fortluft bzw. Abwettern zeigen, dass die festgelegten Genehmigungswerte für radioaktive Stoffe ausnahmslos eingehalten und überwiegend nur zu einem geringen Teil in Anspruch genommen wurden (Abbildung II.4-1 und II.4-2).

Die Genehmigungswerte für Abwässer wurden jeweils aus der genehmigten Wassermenge (Pöhla: 20 m^3/h, Königstein: 650 m^3/h, WBA Ronneburg: 750 m^3/h, Seelingstädt: 300 m^3/h) multipliziert mit der Maximalkonzentration (Pöhla: 0,2 mg Uran/l, 0,3 Bq Radium-226/l, WBA Ronneburg: 0,1 mg Uran/l bzw. 0,2 Bq Radium-226/l) bzw. mit dem genehmigten Jahresmittelwert der Konzentration (Königstein 0,3 mg Uran/l, 0,4 Bq Radium-226/l, Seelingstädt: 0,3 mg Uran/l bzw. 0,2 Bq Radium-226/l) errechnet.

Die Ableitungen mit den Gruben- und Sickerwässern in alle großen Vorfluter haben sich gegenüber dem Vorjahresniveau stark erhöht, was vorrangig darauf zurückzuführen ist, dass das Jahr 2010 wegen der hohen Niederschlagsmengen als extremes Nassjahr zu charakterisieren ist. Die Zunahme bezieht sich insbesondere auf die Abwasser- aber auch die Radium- und Uranmengen. Ursache für diese erhöhten Mengen waren die witterungsbedingt hohen Abflüsse und die damit gestiegenen Grund- und Oberflächenwassermengen, die zu einem erhöhten Aufkommen an Flutungs- und Haldensickerwässern führten. Die Funktion der Wasserbehandlungsanlagen (WBA) ist trotz ihres Einsatzes an der Kapazitätsgrenze als zuverlässig einzuschätzen. Die genehmigten maximalen und mittleren Schadstoffkonzentrationen wurden unterschritten.

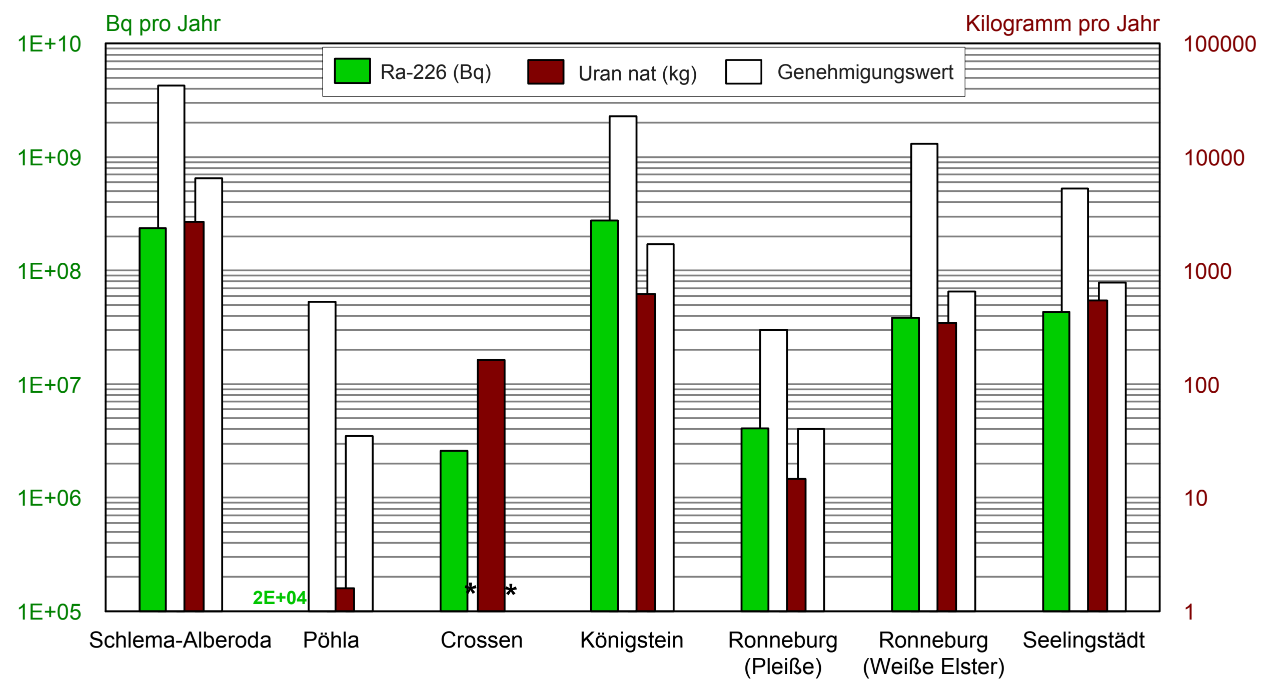
Infolge der im fortschreitenden Sanierungsprozess erfolgenden Einbindung weiterer Haldenkomplexe werden bisher diffus angefallene Sickerwässer gefasst und einer Behandlung zugeführt. Auch die Umlagerung von kontaminierten Materialien, eine in einzelnen Flutungsbereichen veränderte Wasserzusammensetzung und durch die strengere und längere Winterperiode behindert ablaufende chemische Reaktionen sorgten für eine teils geringere Effizienz der WBA bei der Fällung von Schadstoffen und somit für erhöhte Ableitungen. Es zeigt sich außerdem, dass auf Grund hydrochemischer Prozesse mittelfristig die Möglichkeit einer Erhöhung der Schadstoffkonzentration besteht; langfristig wird jedoch eine Konzentrationsabnahme einsetzen.

Insgesamt wird deutlich, dass das jetzt erreichte Niveau der Ableitungen auch weiterhin den durch die meteorologischen Verhältnisse geprägten Schwankungen unterliegen wird und somit keine steuerbare Göße darstellt.

Wie die Überwachungsmessungen in der Umgebung der Sanierungsbetriebe zeigten, traten in den unmittelbar von diesen Ableitungen betroffenen kleineren Zuflüssen zu den Vorflutern auf Grund der geringeren Abflussmenge Uran- und Radium- 226-Konzentrationen auf, die im Vergleich zum natürlichen Niveau deutlich erhöht sind. Das Wasser dieser Gewässer wird jedoch im unmittelbaren Bereich nicht zu Trinkwasserzwecken genutzt, so dass dadurch keine nennenswerten Strahlenexpositionen entstehen. Dagegen wurden in den großen Vorflutern der Bergbaugebiete (Elbe, Zwickauer Mulde, Weiße Elster und Pleiße) wie schon in den Vorjahren keine oder nur geringfügige Erhöhungen der Urankonzentrationen und der Ra-

Abbildung II.4-2

Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Schacht- bzw. Abwässern in die Oberflächengewässer aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2010



dium-226-Aktivitätskonzentrationen gegenüber dem natürlichen, bergbaulich unbeeinflussten Niveau festgestellt. Aus den Ableitungen in die betroffenen Gewässer resultiert an keiner Stelle eine nennenswerte Strahlenexposition. Sie kann bei Unterstellung realistischer Nutzungsszenarien im Einzelfall für die kritische Personengruppe bis zu 0,13 mSv pro Jahr (mSv/a) betragen, so dass der geltende Grenzwert von 1 mSv/a für die Bevölkerung weit unterschritten wird.

Auch bei den Ableitungen von Radon-222 aus Abwetterschächten und Wetterbohrlöchern ergaben sich keine Überschreitungen der Genehmigungswerte. Während in Dresden-Gittersee die Ableitungen auf dem Niveau des Vorjahres liegen, hat sich am Standort Schlema/Alberoda die Jahresableitung an Radon gegenüber dem Vorjahr geringfügig um etwa 4% erhöht. Am Standort Königstein hat sich die Jahresableitung an Radon um etwa 40% verringert, die Ableitung langlebiger Alphastrahler gegenüber dem Vorjahr etwa verdoppelt. Dieser Anstieg ist auf intensive untertägige Versatzarbeiten zurückzuführen. Die daraus resultierende jährliche Strahlenexposition kann hier bis zu 0,5 mSv betragen. An allen Thüringer Standorten sowie im sächsischen Pöhla konnten die Ableitungen völlig eingestellt werden und sie werden nunmehr fast ausschließlich von den Standorten Schlema/ Alberoda und Königstein verursacht.

Auf Betriebsflächen und in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, industriellen Absetzanlagen und an einigen großflächigen Halden wurden insbesondere bei ungünstigen atmosphärischen Bedingungen (z.B. Inversionswetterlage in Tallagen) Radon-222-Konzentrationen im Freien festgestellt, die bis etwa das Sechsfache des natürlichen, bergbaulich unbeeinflussten Niveaus betragen können. Radon-222-Konzentrationen im Freien, die aus Sicht des Strahlenschutzes bedeutend sind, treten jedoch in Wohngebieten nur in unmittelbarer Nähe solcher Hinterlassenschaften auf.

Die Hinterlassenschaften des Altbergbaus und diejenigen Hinterlassenschaften des Uranbergbaus, die sich nicht im Besitz der Wismut GmbH befinden, wurden vom BfS im Projekt „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkataster)“ systematisch erfasst, untersucht und radiologisch bewertet. Die Ergebnisse des Projektes stehen den für den Vollzug des Strahlenschutzrechtes zuständigen Behörden in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen zur Verfügung. Seit September 2003 werden auf der Grundlage eines Verwaltungsabkommens zwischen dem Bund und dem Freistaat Sachsen ausgewählte Wismut-Altstandorte, wie z.B. im Raum Johanngeorgenstadt, saniert.

5. Radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung in Forschung, Technik und Haushalt

Die StrlSchV verbietet zum Schutz des Verbrauchers den Zusatz von radioaktiven Stoffen bzw. die Aktivierung bei der Herstellung bestimmter Produkte wie z.B. Spielsachen, kosmetischen Mitteln und Schmuck.

Sie regelt den genehmigungsbedürftigen Zusatz von radioaktiven Stoffen und die genehmigungsbedürftige Aktivierung bei der Herstellung von bestimmten Industrieerzeugnissen bzw. Konsumgütern und die Rückführung von Produkten nach Beendigung des Gebrauchs.

Die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung am Menschen in der medizinischen Forschung ist in der StrlSchV und in der RöV geregelt. Die Genehmigung dieser Anwendungen ist beim Bundesamt für Strahlenschutz zu beantragen.

5.1 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen

Bestimmte Industrieerzeugnisse wie z. B. wissenschaftliche Instrumente, elektronische Bauteile, Leuchtstoffröhren, Ionisationsrauchmelder, Gasglühstrümpfe, Schweißelektroden und keramische Gegenstände enthalten radioaktive Stoffe unterschiedicher Art und Aktivität. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen wird durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt, das auch einen genehmigungsfreien Umgang, z.B. nach einer Bauartzulassung oder bei Unterschreiten festgelegter Aktivitätswerte, vorsieht.

Bei einigen technischen Prozessen werden Strahlenquellen zur Messung und Steuerung (z.B. Füllstands-, Dicke- und Dichtemessung) oder zur Qualitätskontrolle bei der zerstörungsfreien Materialprüfung eingesetzt. Der Umgang mit diesen technischen Strahlenquellen bedarf in der Regel der Genehmigung oder einer Bauartzulassung.

Die StrlSchV regelt den Umgang mit diesen Industrieerzeugnissen und die RöV den Einsatz von Röntgengeräten, um – neben den Arbeitnehmern – die Bevölkerung vor unnötiger Strahlenexposition zu schützen. Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung, die aus der Verwendung dieser Industrieerzeugnisse bzw. Konsumgüter resultiert, lag bisher unter 0,01 mSv pro Jahr. Es ist davon auszugehen, dass dies auch für das Jahr 2010 gilt.

5.2 Hochradioaktive Strahlenquellen

Hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ) werden in einem zentralen Register erfasst, durch die zentrale Erfassung dieser Quellen wird sichergestellt, dass zuständige Genehmigungs-, Aufsichts- sowie Sicherheitsbehörden jederzeit Informationen über Art, Aktivität, Besitzherrschaft sowie Standort aller in Deutschland befindlichen HRQ erhalten können.

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) wird vom Bundesamt für Strahlenschutz betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, die in Deutschland in den Verkehr gebracht wurden und deren Aktivität den durch die Strahlenschutzverordnung festgelegten, nuklidspezifischen Grenzwert überschreitet[4], zentral erfasst. Darüber hinaus müssen dem Register auch alle gefundenen oder verloren gegangenen HRQ unverzüglich gemeldet werden. Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind durch die o.g. Richtlinie der EURATOM innerhalb der EU einheitlich festgelegt.

In Deutschland existiert für HRQ ein breites Anwendungsfeld. Während derartige Quellen in der Medizin überwiegend in der Strahlentherapie eingesetzt werden (z.B. Cs-137-Strahler in Afterloading-Geräten), verwendet die Industrie sie häufig für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung (z.B. Gammaradiographie für Schweißnahtprüfungen an Rohrleitungen mit Ir-192 oder Se-75). Andere Einsatzbereiche liegen in der Forschung, wo beispielsweise Co-60 für die Erzeugung von Gammastrahlungsfeldern und Cf-252 für die Erzeugung von Neutronenstrahlungsfeldern verwendet wird.

Ende 2010 waren im Register für hochradioaktive Strahlenquellen insgesamt 590 (2009: 580) Genehmigungsinhaber mit ihren Stammdaten aufgenommen. 49 (2009: 49) Bundes- und Landesbehörden hatten Zugang zum HRQ-Register. Zu 20100 (2009: 17300) registrierten Strahlenquellen wurden 63000 Meldungen bis Ende des Jahres 2010 (2009: 49200 Meldungen) über deren Erhalt, Abgabe und Kontrolle in das HRQ-Register aufgenommen. Von diesen registrierten Strahlenquellen waren nur knapp 40% als „hochradioaktive Strahlenquellen“[4] in Nutzung, da ein Großteil der Quellen bis Ende 2010 ins Ausland verbracht wurde oder aufgrund des radioaktiven Zerfalls (insbes. Nuklide mit einer geringen Halbwertszeit wie Ir-192 oder Se-75) wieder eine Aktivität unterhalb des HRQ-Grenzwertes aufwies.

5.3 Störstrahler

Störstrahler sind Geräte, z.B. Elektronenmikroskope und Hochspannungsgleichrichter, oder Einrichtungen, bei deren Betrieb Röntgenstrahlen entstehen. Sie unterliegen einer Genehmigungspflicht, falls keine Bauartzulassung vorliegt. Zu den Störstrahlern gehören auch Kathodenstrahlröhren in Bildschirmgeräten wie z.B. in Fernsehgeräten älterer Bauart. Die Höchstwerte der Ortsdosisleistung der Störstrahler sind in § 5, Abs. 2, Satz 1 der RöV auf 1 µSv/h in 0,1 m Abstand festgelegt.

Der Beitrag von Störstrahlern zur Strahlenexposition der Bevölkerung beträgt dadurch auch 2010 weniger als 0,01 mSv.

5.4 Freigabe schwach radioaktiver Stoffe

Beim Rückbau von Kernkraftwerken fallen große Materialmengen an, von denen der überwiegende Teil während des Betriebs und der Stilllegung nicht oder nur schwach radioaktiv kontaminiert oder aktiviert wurde. Den Hauptanteil bilden Baustoffe, die nach der Freigabe, d.h. der Entlassung aus der strahlenschutzrechtlichen Überwachung, wieder dem konventionellen Stoffkreislauf zugeführt werden können. Nach StrlSchV ist Freigabe sinngemäß definiert als Verwaltungsakt, durch den radioaktive Stoffe, bewegliche Gegenstände, Gebäude, Bodenflächen sowie Anlagen oder Anlagenteile, die aktiviert oder mit radioaktiven Stoffen kontaminiert sind, aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen werden.

Zur Frage, unter welchen Bedingungen schwach radioaktive Stoffe freigegeben werden können, hat sich internati-

---

[4] Aktivität größer als 1/100 des A1-Wertes gemäß Anlage III, Tabelle 1, Spalte 3a, StrlSchV. Dieser Wert beträgt für die häufig verwendeten Nuklide Ir-192 und Co-60 z. B. 4 GBq, bzw. 10 GBq.

onal ein Konsens gebildet, wonach eine Freigabe solcher Stoffe dann verantwortet werden kann, wenn sie für Einzelpersonen der Bevölkerung nur zu geringfügigen Strahlenbelastungen, die allenfalls im Bereich von 10 Mikrosievert (µSv) im Kalenderjahr liegen, führt. Dieses Kriterium ist in der StrlSchV als Voraussetzung einer Freigabeentscheidung fixiert worden. Das Freigabekriterium ist sicher dann erfüllt, wenn die Höhe der Radioaktivität im freizugebenden Material (ausgedrückt z.B. in Becquerel pro Gramm Material, Bq/g) die entsprechenden radionuklidspezifischen Freigabewerte unterschreitet. Freigabewerte finden sich in Anlage III, Tabelle 1 der StrlSchV. Es kann somit direkt über eine Messung der Aktivität des freizugebenden Materials entschieden werden, ob durch eine Freigabe eine Überschreitung der Dosisleistung von 10 µSv pro Person im Kalenderjahr zu erwarten wäre oder nicht. Die Errechnung der tabellierten Freigabewerte geschieht mittels komplexer radioökologischer Modelle, die verschiedene Expositionsszenarien, beispielsweise solche, die einen Deponiearbeiter betreffen, beinhalten. Über den Wert entscheidet in der Regel das restriktivste Szenarium, so dass alle weiteren Szenarien hierdurch automatisch abgedeckt sind (konservativer Ansatz). Freigabewerte liegen oft nahe an der technischen Nachweisgrenze für ionisierende Strahlung. Typische Szenarienrechnungen sind beispielsweise in Heft 16 der Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) von 1998 beschrieben.

Die EU-Richtlinie 96/29 (Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen) enthält keine Freigabewerte, sondern die EU stellt bislang ihren Mitgliedstaaten nur Grundsätze für die Festlegung der Freigabewerte zur Verfügung. Im Rahmen der bevorstehenden Fortschreibung dieser Sicherheitsnormen wird jedoch die Einführung solcher Werte für die uneingeschränkte Freigabe, bei der keine Bedingungen an die weitere Verwendung und Verwertung der freigegebenen Stoffe gestellt werden, angestrebt. Entsprechende Freigabewerte wurden bereits von der IAEA in der „Safety Reports Series No.44[5]“ veröffentlicht.

6. Rückstände aus Industrie und Bergbau mit erhöhter natürlicher Radioaktivität

Im Bergbau und bei industriellen Prozessen, die Erze oder mineralische Rohstoffe verarbeiten, können Rückstände anfallen, die Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen in Konzentrationen enthalten, die über denen in oberflächennahen Gesteinen und Böden liegen. Häufig reichern sich die Radionuklide prozessbedingt in bestimmten Rückständen (z.B. Stäube und Schlämme der Rauchgasreinigung bei der Primärverhüttung in der Eisen- und Nichteisenmetallurgie) oder in technischen Geräten und Einrichtungen (z.B. Verkrustungen der Rohre und Pumpen in der Erdgas- und Erdölförderung) besonders an. Da solche Rückstände entweder in andere Wirtschaftsprozesse gelangen (z.B. Verwertung von Schlacken im Haus- und Straßenbau) oder beseitigt werden (z.B. Verbringung auf Deponien), können sich erhöhte Strahlenexpositionen der allgemeinen Bevölkerung oder der mit der Verwertung bzw. Beseitigung befassten Arbeitnehmer ergeben. In Abhängigkeit von den Eigenschaften der Rückstände, den Verwertungs- und Beseitigungsprozessen und den Standortgegebenheiten können diese Strahlenexpositionen in der Größenordnung der mittleren natürlichen Strahlenexposition und auch deutlich darüber liegen. Die Rückstände und die von ihnen ausgehenden Strahlenexpositionen müssen daher im Hinblick auf den vorsorgenden Gesundheitsschutz im System des Strahlenschutzes angemessen berücksichtigt werden.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden mit der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) von 2001 weitreichende und detaillierte strahlenschutzrechtliche Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Rückständen mit erhöhter natürlicher Radioaktivität gestellt (StrlSchV Teil 3 Kapitel 3). Grundsätzlicher Maßstab der Regelungen ist die Einhaltung eines Richtwerts für den Bevölkerungsschutz in Höhe von 1 mSv/a. Die Regelungen stehen im Einklang mit den diesbezüglichen europäischen Vorgaben in der Richtlinie 96/29/EURATOM zu den Grundnormen im Strahlenschutz und setzen diese in deutsches Recht um. Sie gelten bisher ausschließlich für im Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung angefallene Rückstände. Mit der aktuellen Novelle der Strahlenschutzverordnung fallen jetzt auch aus dem Ausland bezogene Rückstände unter die Regelungen des Teils 3.

Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität sowie deren Verbleib werden grundsätzlich durch die zuständigen Landesbehörden, denen der Vollzug der Strahlenschutzaufsicht obliegt, erfasst. Im Auftrag des BfS wurden in den letzten Jahren Schätzungen der jährlich in der Bundesrepublik Deutschland zu erwartenden Rückstandsmengen durchgeführt. Tabelle II.6-1 gibt hierzu eine Übersicht.

Insbesondere bei der Förderung und Verarbeitung von Erdöl und Erdgas können Rückstände mit vergleichsweise hohen Konzentrationen an natürlichen Radionukliden anfallen. Es handelt sich um Inkrustierungen in Aggregaten und Rohrleitungen, die sich über lange Betriebszeiträume absetzen und die die im geförderten Erdgas bzw. Erdöl mitgeführte Radioaktivität aufnehmen. Die Rückstände werden - ggf. nach Gewinnung noch enthaltener Wertstoffe (z.B. Quecksilber) – beseitigt, d.h. deponiert. Hierfür wird geprüft, ob die in der Strahlenschutzverordnung für den betreffenden Beseitigungsweg (z.B. Deponierung unter Tage) angegebenen Überwachungsgrenzen (spezifische Aktivität in Bq/g) und sonstigen Anforderungen eingehalten sind. Ist dies der Fall, können die Rückstände ohne weitere Strahlenschutzmaßnahmen beseitigt werden. Der vorgeschriebene Dosisrichtwert wird dann eingehalten. Allerdings liegen die spezifischen Aktivitäten bei Rückständen aus der Erdgas- und Erdölverarbeitung meist erheblich über den Überwachungsgrenzen. Sie können einige 10 bis mehrere 100 Bq/g (Radium-226,

[5] Safety Reports Series No.44: “Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance”, IAEA, Wien, 2005

Radium-228), in Ausnahmefällen sogar um 1000 Bq/g betragen. Soweit jedoch der Inhaber der Rückstände für den vorgesehenen Beseitigungsweg nachweisen kann, dass der Richtwert für die Bevölkerungsexposition in Höhe von 1 mSv/a eingehalten wird und hierfür keine fortgesetzten Strahlenschutzmaßnahmen nach den üblichen abfallrechtlichen Randbedingungen erforderlich sind, entlässt die zuständige Strahlenschutzbehörde auf Antrag die Rückstände aus der Strahlenschutzüberwachung. Ist die Entlassung aus der Überwachung nicht möglich, verbleiben die Rückstände im Regime des Strahlenschutzes. Die zuständige Landesbehörde kann in diesen Fällen anordnen, wie die Rückstände zu beseitigen sind und welche Schutzmaßnahmen Anwendung finden müssen. Auch bei anderen neuen Bereichen zur Nutzung natürlicher Ressourcen, deren Rückstände in der Strahlenschutzverordnung noch nicht aufgeführt werden, laufen vergleichbare Prozesse ab wie bei der Erdöl-/Erdgasförderung. Dazu gehört die Nutzung der tiefen Geothermie, bei der in den Rohren und Anlagen ebenfalls Ablagerungen entstehen. Wie erste Erfahrungen zeigen, weisen diese hinsichtlich der möglichen Radionuklidanreicherungen erhebliche Unterschiede auf, die durch die jeweils genutzten geologischen Formationen in Deutschland bedingt sind.

Tabelle II.6-1

Abschätzung der jährlichen Mengen industrieller Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (> 0,2 Bq/g)

Zuordnung der Rückstände gemäß Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)	Masse [t/a]
Ablagerungen aus der Erdöl- und Erdgasindustrie	20 – 60
Anlagenteile mit Ablagerungen aus der Erdöl- und Erdgasindustrie	20 – 400
Schlämme aus der Erdöl- und Erdgasindustrie	50 – 250
Rückstände aus der Aufbereitung von Phosphorgipsen	100
Rotschlämme aus der Bauxitverarbeitung	600000
Rückstände aus der Tantal-Produktion	unbekannt
Pyrochlorschlacken	30
Sinterstäube aus der Roheisenmetallurgie	5000
Hochofenschlämme aus der Roheisenmetallurgie	30000
Stäube aus der Nichteisen-Primärmetallurgie	30000
Sonstige uran- und thoriumhaltige Rückstände	100

Rückstände der Erdgas- und Erdölindustrie sind in der Bundesrepublik Deutschland insbesondere in Schleswig-Holstein und in Niedersachsen von Bedeutung. In Schleswig-Holstein betrifft dies den Betrieb einer Nordsee-Ölplattform, bei dem kesselsteinartige, feste Ablagerungen in den Förderrohren sowie Schlämme infolge der Trennung von Öl und Wasser anfallen. In Niedersachsen geht es um die bei der Nutzung von Erdgasvorkommen entstehenden Ablagerungen in den Förderrohren. Zudem findet im Freistaat Sachsen und in Nordrhein-Westfalen eine kommerzielle Gewinnung von Quecksilber aus solchen Rückständen statt.

7. Fall-out durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl und durch Kernwaffenversuche

7.1 Tschernobyl

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde 2010 fast ausschließlich durch die Bodenstrahlung des im Jahr 1986 deponierten Cäsium-137 verursacht. Andere Radionuklide spielen keine Rolle mehr. Auf Grund seiner physikalischen Halbwertszeit von 30 Jahren liegen noch ca. 56 % der 1986 deponierten Aktivität vor. Bei ausschließlicher Berücksichtigung des physikalischen Zerfalls nahm die äußere Strahlenexposition gegenüber dem Vorjahr um 2,3 % ab. Unter Berücksichtigung von Abschirmeffekten durch den Boden sowie durch den Aufenthalt in Gebäuden ergibt sich eine mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch Bodenstrahlung von weniger als 0,01 mSv pro Jahr (zum Vergleich: 1986 0,07 mSv).

Südlich der Donau und in einigen Gebieten des Bayerischen Waldes und Ostdeutschlands kann die Bodenstrahlung infolge örtlich und zeitlich begrenzter starker Regenfälle zur Zeit des Durchzugs der radioaktiven Wolke, die zu einer erhöhten Ablagerung des Radiocäsiums am Boden geführt haben, um bis zu eine Größenordnung höher sein.

Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch sind durch radioaktives Cäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig belastet. In einem umfangreichen Messprogramm nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz im Rahmen des Integrierten Mess- und Informationssystems (IMIS) werden jährlich mehrere tausend Lebensmittelproben auf ihren Radioaktivitätsgehalt untersucht. Dadurch wird eine bundesweite Überwachung der Radioaktivitätspegel in Lebensmitteln sichergestellt.

Die Messwerte der Aktivitätskonzentration von Cäsium-137 liegen wie im Vorjahr in den meisten Fällen unter 1 Bq pro Kilogramm Frischmasse bzw. pro Liter. Im Durchschnitt wird mit der Gesamtnahrung eine Aktivität von ca. 0,23 Bq Cäsium-137 pro Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv pro Jahr resultiert (zum Vergleich 1986: 0,04 mSv). Diese ist gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (Kalium-40, Nuklide von Uran und Thorium und deren Folgeprodukte) sehr klein.

In Lebensmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen wurden weiterhin höhere Werte gemessen. Die spezifischen Cäsium-137-Aktivitäten reichen bei einigen Arten von Wildpilzen (Maronenröhrlinge, 118

Abbildung II.7-1



Cäsium-137-Gehalt (Mittelwerte) von Rehen und Wildschweinen im Jahr 2010 (Datenbasis des Bundes, Anzahl der Werte in Klammern)

Messungen) bis 1050 Bq/kg. Bei Fischen treten in Binnenseen bis zu 84 Bq/kg bei Flussbarsch auf.

Gelegentlich werden noch bei Wildschweinen Überschreitungen des Höchstwertes von 600 Bq pro kg für Cäsium-137gemessen; diese dürfen dann nicht vermarktet werden.

In Abbildung II.7-1 werden Daten aus dem Integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) dargestellt. Diese sind allerdings nicht repräsentativ für das jeweilige Bundesland. In den hochbelasteten Gebieten Süddeutschlands wurden keine Proben genommen.

In Bayern liegt der Mittelwert von 11 Messungen an Wildschweinen bei 34 Bq/kg, die Werte reichen bis 164 Bq/kg. Für Rehe liegt der Mittelwert von 28 Messungen bei 25 Bq/kg mit einem Höchstwert von 173 Bq/kg. Hier und auch in allen anderen Bundesländern gab es 2010 keine Überschreitung des Höchstwertes bei Rehfleisch.

In Niedersachsen wurde ein Mittelwert von 119 Bq/kg und ein Maximalwert von 2264 Bq/kg bei Wildschweinfleisch gemessen (27 Messungen). In allen anderen Bundesländern wurde bei keiner Messung der Höchstwert von 600 Bq/kg überschritten. In Baden-Württemberg liegt der Mittelwert bei 63 Bq/kg (9 Messungen), der Maximalwert bei 405 Bq/kg. Werte bis 277 Bq/kg fanden sich in Hessen bei einem Mittelwert von 67 Bq/kg (22 Messungen) in Wildschweinfleisch. Zwei Messungen von Wildschweinfleisch in Nordrhein-Westfalen ergaben einen Mittelwert von 39 Bq/kg.

Cäsium-137 wird von Wild über das Futter aufgenommen. Bei Schwarzwild spielen Hirschtrüffel eine besondere Rolle, da diese sehr viel höher belastet sind als Speisepilze und von Wildschweinen besonders gerne gefressen werden. Die höchsten Aktivitäten weist das Fleisch von Wildschweinen aus großen geschlosssenen Waldgebieten auf, da die Tiere hier weniger auf landwirtschaftliche Flächen ausweichen können. Aus dem selben Grund sind Wildschweine aus Gehegen, die ausschließlich mit

landwirtschaftlichen Erzeugnissen gefüttert werden nur geringfügig belastet.

Der einmalige Verzehr von 500 g Wildschweinfleisch des am höchsten kontaminierten Tieres (2264 Bq/kg Cs-137) hätte bei Erwachsenen zu einer unbedenklichen effektiven Dosis von 0,016 mSv geführt.

7.2 Kernwaffenversuche

In den Jahren 1945 bis 1980 wurde eine große Anzahl oberirdischer Kernwaffenversuche durchgeführt. Seit 1981 wurden nur noch unterirdische Kernwaffenversuche, der letzte 2009 in Nordkorea durchgeführt.

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist seit dem Kernwaffenteststopp-Abkommen von 1964 stetig zurückgegangen. Ihr Anteil an der gesamten Strahlenexposition des Menschen beträgt zurzeit weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

III. Berufliche Strahlenexposition

Die Überwachung der beruflichen Strahlenexposition in Deutschland gliedert sich im Wesentlichen in fünf Bereiche:

– Bei Personen, die genehmigungs- und anzeigebedürftige Tätigkeiten in Strahlenschutzbereichen durchführen und eine effektive Jahresdosis von mehr als 6 mSv/a erhalten können, ist die Personendosis zu ermitteln. In der Praxis werden auch oft Personen, die in Strahlenschutzbereichen mit einer effektiven Jahresdosis von mehr als 1 mSv pro Jahr tätig sind, überwacht. Dies geschieht in der Regel durch monatlich ausgegebene Dosimeter (Kapitel III.1.1).

– Bei Personen, bei denen am Arbeitsplatz die Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper, z.B. über die Atemluft, nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel Radioaktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. Analysen ihrer Körperausscheidungen durchgeführt (Kapitel III.1.2).

– Mit der StrlSchV vom 20.07.2001 ist auch Luftfahrtpersonal überwachungspflichtig, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann (Kapitel III.2.1).

– Des Weiteren wurde mit der StrlSchV 2001 in Betrieben mit erheblich erhöhter Exposition durch natürliche terrestrische Strahlenquellen die Überwachung von Personen eingeführt, die bei Arbeiten eine jährliche effektive Dosis von 6 mSv überschreiten können. Dies betrifft z.B. die Beschäftigten in Schauhöhlen, Wasserwerken oder Heilbädern (Kapitel III.2.2).

– Berufliche Strahlenexpositionen infolge von Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues durch Beschäftigte der Wismut GmbH werden nach § 118 StrlSchV erfasst (Kapitel III.2.3).

Die Dosisfeststellung erfolgt in der Regel durch die von Landesbehörden bestimmten Messstellen. Diese melden ihre Dosisfeststellungen zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz. Dort werden die Meldungen aus den o. g. fünf Bereichen personenbezogen zusammengeführt und unter anderem auf Einhaltung der Dosisgrenzwerte ausgewertet. Der gesetzlich festgelegte Grenzwert der Jahresdosis beträgt einheitlich für die Summe aus allen Bereichen 20 mSv pro Jahr.

1. Zivilisatorische Strahlenquellen

1.1 Personendosisüberwachung

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, mit Ausnahme des Flugpersonals (siehe Kapitel III.2.1), werden mit Personendosimetern überwacht, die von vier behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Daten werden zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt. Die Zahl dieser überwachten Personen betrug im Jahr 2010 insgesamt ca. 340000 und nahm gegenüber dem Vorjahr um ca. 6300 Überwachte zu. Davon waren ca. 264 000 im Bereich der Medizin beschäftigt (ca. 6600 mehr als im Vorjahr). Abbildung III.1-1 zeigt die Anzahl der Überwachten seit 1980 für die alten und ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer. Die Anzahl des fliegenden Personals ist seit 2004 in dieser Abbildung dargestellt. Da Personen, die die Messstelle wechselten, bis einschließlich 1998 bisweilen doppelt erfasst wurden, kam es zu Mehrfachzählungen. Seit dem Überwachungsjahr 1999 treten infolge der zentralen, personenbezogenen Auswertung im Strahlenschutzregister diese Mehrfachzählungen nicht mehr auf.

Die nachstehenden Dosisangaben beziehen sich auf Photonenstrahlen, da diese in nahezu allen Kontrollbereichen die Dosis bestimmen. Dosisbeiträge durch Neutronen- und Betastrahler sind nur in wenigen Fällen von Bedeutung. Die Summe der Jahresdosiswerte aller Überwachten (Kollektivdosis) im Jahr 2010 betrug 44 Personen-Sv (ohne fliegendes Personal).

Die Beiträge der medizinischen und nichtmedizinischen Tätigkeitszweige zur Kollektivdosis zeigt die Abbildung III.1-2. Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen. Für die Gesamtheit aller Überwachten ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,12 mSv. Es ist jedoch zu beachten, dass bei 83% dieser Überwachten während des ganzen Jahres gar keine Exposition auftrat bzw. die Expositionen unterhalb der Erkennungsgrenze von 0,05 mSv der verwendeten Dosimeter lagen. Messwerte unterhalb der Erkennungsgrenze wurden von den Messstellen als Personendosis mit dem Wert Null festgesetzt. Im Bereich Medizin erhielten 84 % und in den nichtmedizinischen Bereichen 76 % keine messbare Personendosis, d.h eine Dosis unterhalb der Erkennungsgrenze. Abbildung III.1-3 zeigt, wie sich die Überwachten aus den verschiedenen Tätigkeitsbereichen bezüglich ihrer Jahrespersonendosis verteilen. Bei den exponierten Personen sieht

man eine ausgeprägte Häufung bei kleinen Dosiswerten. Eine Ausnahme bildet das fliegende Personal (s. Kap. III.2.1). Bildet man den Mittelwert nur für Exponierte, also für die überwachten Personen mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten (59 800 Personen), so ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,67 mSv. Dieser Wert liegt um 20% niedriger als im Vorjahr (0,84 mSv). Für die Einschätzung der Aussagekraft dieses Wertes ist zu beachten, dass Personen, die beruflich keiner höheren Dosis als 1 mSv ausgesetzt sein können, nicht überwacht werden und deshalb nicht berücksichtigt sind.

2001 wurde im Zuge der Umsetzung der Richtlinie 96/29/ EURATOM der Jahresgrenzwert für die berufliche Strahlenexposition von 50 mSv auf 20 mSv abgesenkt. Bereits ab 1999 ging die Anzahl der Personen, die einer höheren Dosis als 20 mSv im Kalenderjahr ausgesetzt waren, deutlich zurück. Der Rückgang erfolgte vor allem im nichtmedizinischen Bereich (siehe Abbildung III.1-4). Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen. Ab dem Jahr 2005 sind in dieser Abbildung auch Grenzwertüberschreitungen durch Expositionen aus natürlichen Quellen enthalten (siehe Kapitel III.2, vor allem III.2.2).

Ist vorauszusehen, dass im Kalenderjahr die Organdosis für Hände, Haut oder Augenlinse größer als der entsprechend in § 41 Abs. 3 genannten Wert ist, so ist die Personendosis durch weitere Dosimeter auch an diesen Körperteilen festzustellen (§41 Abs3 StrlSchV). Diese Überwachung wurde im Jahr 2010 bei 21 000 Personen durchgeführt. Bei 6 100 Personen wurden Teilkörperdosen von mehr als 0,5 mSv gemessen. Die Grenzwerte für Teilkörperdosen wurden 2010 in zwei Fällen überschritten.

Angaben über die berufliche Strahlenexposition in Kernkraftwerken sind in den Abbildungen III.1-5 und III.1-6 enthalten.

1.2 Inkorporationsüberwachung

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aufnahme von radioaktiven Stoffen nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. durch Analyse ihrer Ausscheidungen überwacht. Im Jahr 2010 meldeten 16 behördlich bestimmte Inkorporationsmessstellen Dosiswerte von 1 306 inkorporationsüberwachten Personen (2009: 1 354 Personen). Deren Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,01 Personen-Sv. Die maximale Jahresdosis infolge von Inkorporation betrug 2,9 mSv. In Tabelle III.1-1 sind die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung zusammengefasst.

2. Natürliche Strahlenquellen

2.1 Flugpersonal

Luftfahrtgesellschaften ermitteln seit 1. August 2003 mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen die Dosis für das fliegende Personal und melden diese Werte über das Aufsicht führende Luftfahrtbundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS. In Deutschland wurden im Jahr

Abbildung III.1-1

Beruflich strahlenschutzüberwachte Personen in Deutschland
(ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)

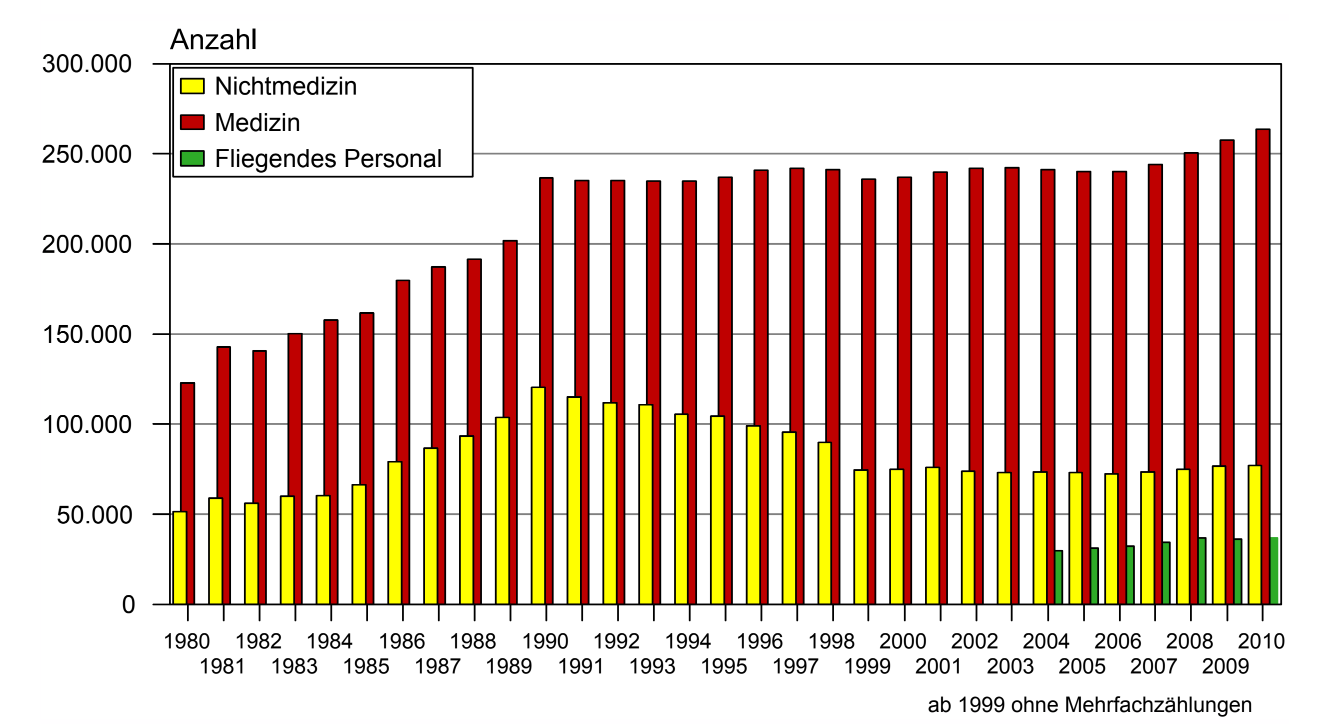


Abbildung III.1-2

Entwicklung der jährlichen Kollektivdosis beruflich Strahlenexponierter
(ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)

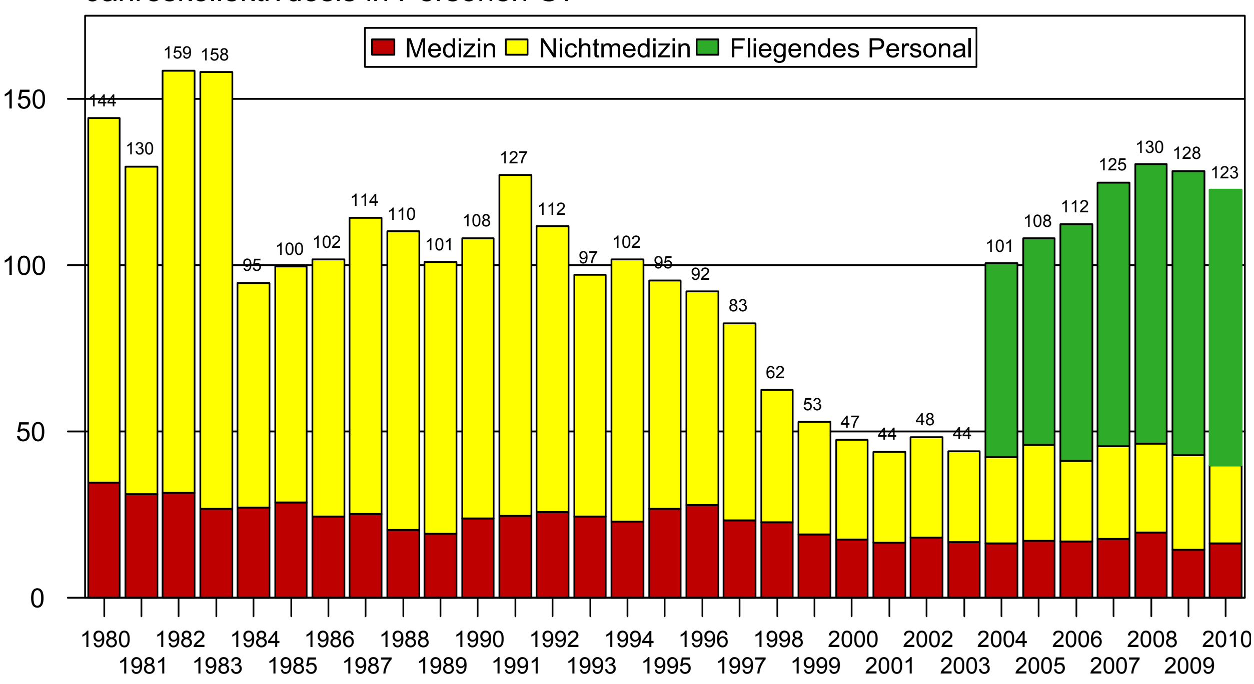


Tabelle III.1-1

Verteilung der Jahrespersonendosen durch Inkorporation im Jahr 2010

Dosis durch Inkorporation in mSv	Anzahl der Personen
H = 0	1240
0 < H ≤ 0,1	47
0,1 < H ≤ 0,2	10
0,2 < H ≤ 1,0	7
1,0 < H ≤ 6,0	2
6,0 < H ≤ 20,0	0
H > 20,0	0
Gesamt	1306

2010 36800 Personen überwacht. Die Kollektivdosis betrug 83 Personen-Sv. Die mittlere Jahresdosis sank von 2,4 mSv auf 2,26 mSv. 2010 betrug der höchste Wert der Jahresdosis 7,4 mSv, 7 Personen wiesen mehr als 6 mSv auf (siehe Abbildung III.1-3). Das fliegende Personal zählt in Bezug auf die Kollektivdosis und die mittlere Jahrespersonendosis zu den am höchsten strahlenexponierten Berufsgruppen in Deutschland. Auch die Form der Dosisverteilung ist nicht mit anderen Berufsgruppen vergleichbar.

2.2 Wasserwerke, Schauhöhlen, Heilbäder

Nach § 95 StrlSchV hat derjenige, der in eigener Verantwortung eine Arbeit ausübt oder ausüben lässt, die einem der in der Anlage XI dieser Verordnung genannten Arbeitsfelder zuzuordnen ist, eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Strahlenexposition durchzuführen. Wird dabei eine erhöhte Strahlenbelastung festgestellt, so ist die Arbeit bei der zuständigen Behörde anzeigebedürftig und für die betroffenen Personen ist die Körperdosis zu ermitteln. Dazu werden repräsentative Messungen an Arbeitsplätzen durchgeführt. Für jeden Arbeitsplatz werden aus den Messergebnissen die Expositionsdaten abgeleitet, aus denen unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufenthaltszeiten die Körperdosen der Beschäftigten berechnet werden können.

Im Jahr 2010 wurde die durch natürliche Strahlenquellen verursachte Strahlenexposition in Wasserwerken und Schauhöhlen für 77 Personen an das Strahlenschutzregister übermittelt. Von diesen wiesen 10 Überwachte keine messbare berufsbedingte Strahlenexposition auf.

Im Jahr 2010 gab es in einem Betrieb der Wasserversorgung eine Überschreitung des Grenzwertes von 20 mSv. Bei 28 Beschäftigten wurde eine jährliche effektive Dosis von mehr als 6 mSv festgestellt (2009: 27 Beschäftigte). Die mittlere Jahresdosis betrug 4,8 mSv (2009: 92 überwachte Personen, Mittelwert 10 mSv). Die Kollektivdosis betrug 0,4 Personen-Sv. Die Beschäftigten von Wasser-

Abbildung III.1-3

Verteilung der Jahrespersonendosen beruflich Strahlenexponierter im Jahr 2010

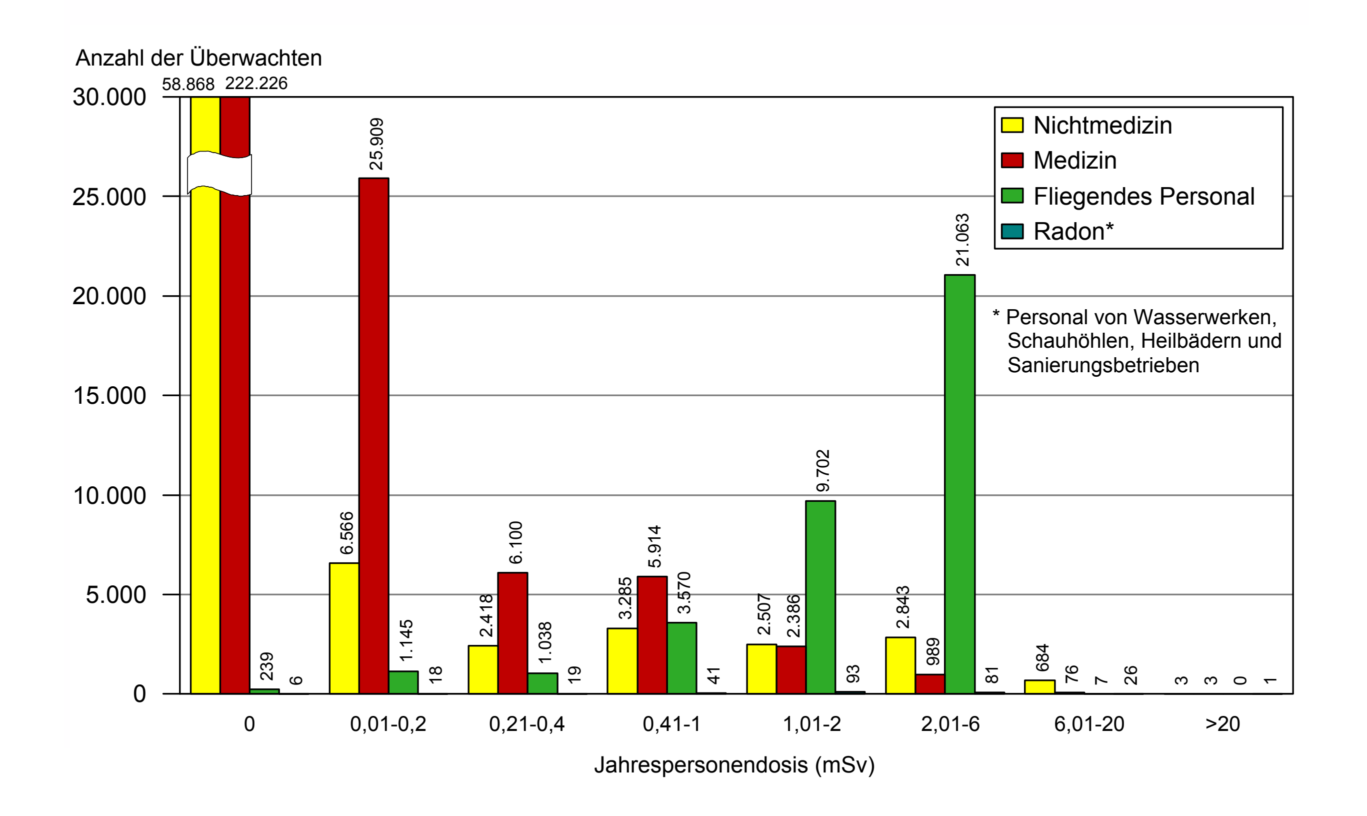


Abbildung III.1-4

Anzahl der Personen mit Ganzkörperjahresdosen über 20 mSv

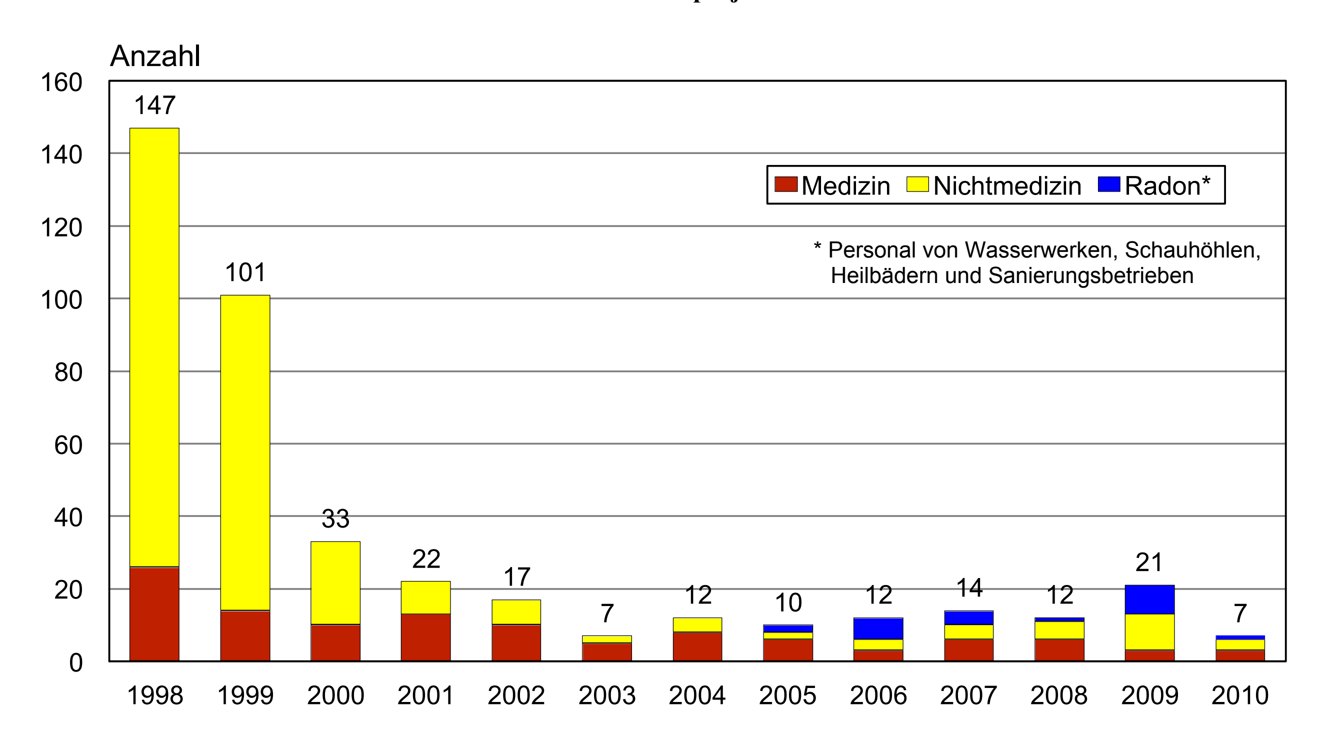


Abbildung III.1-5

Beruflich strahlenschutzüberwachte Personen in Kernkraftwerken

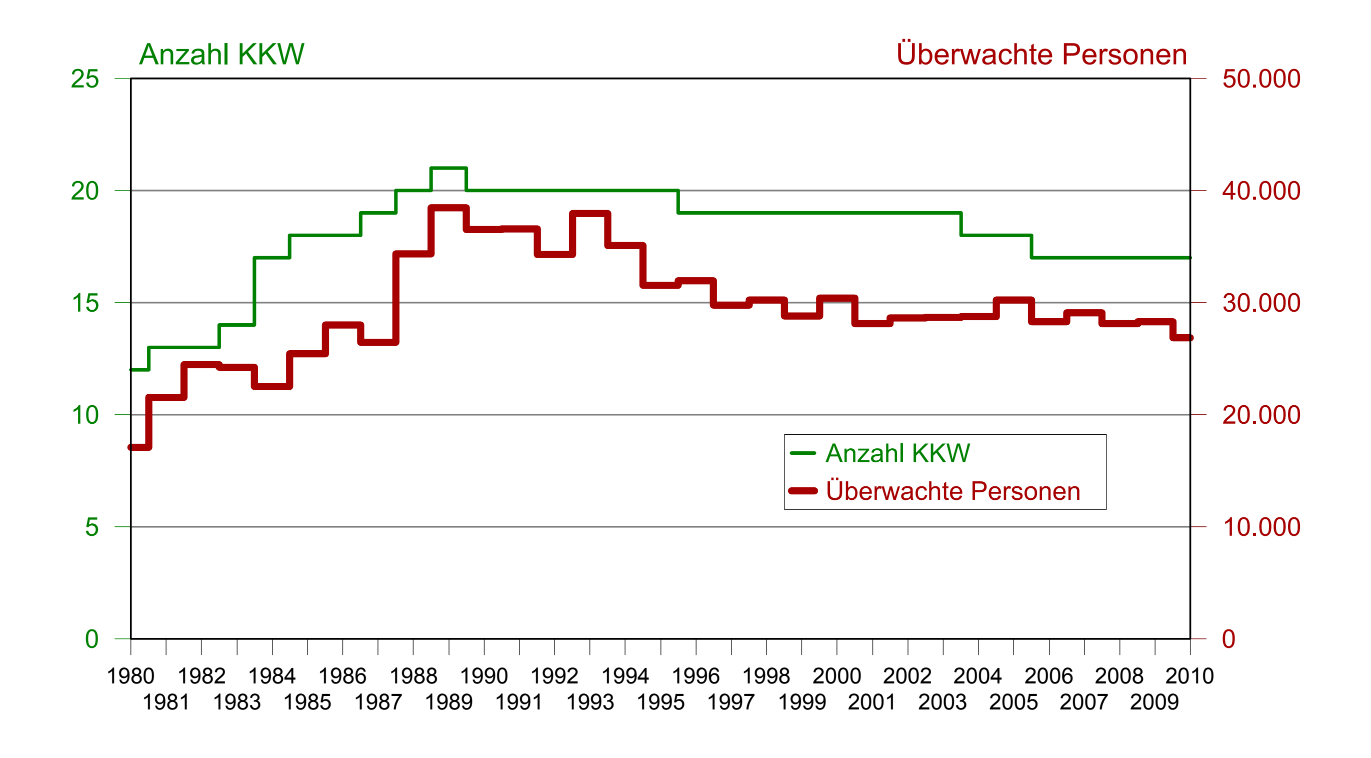
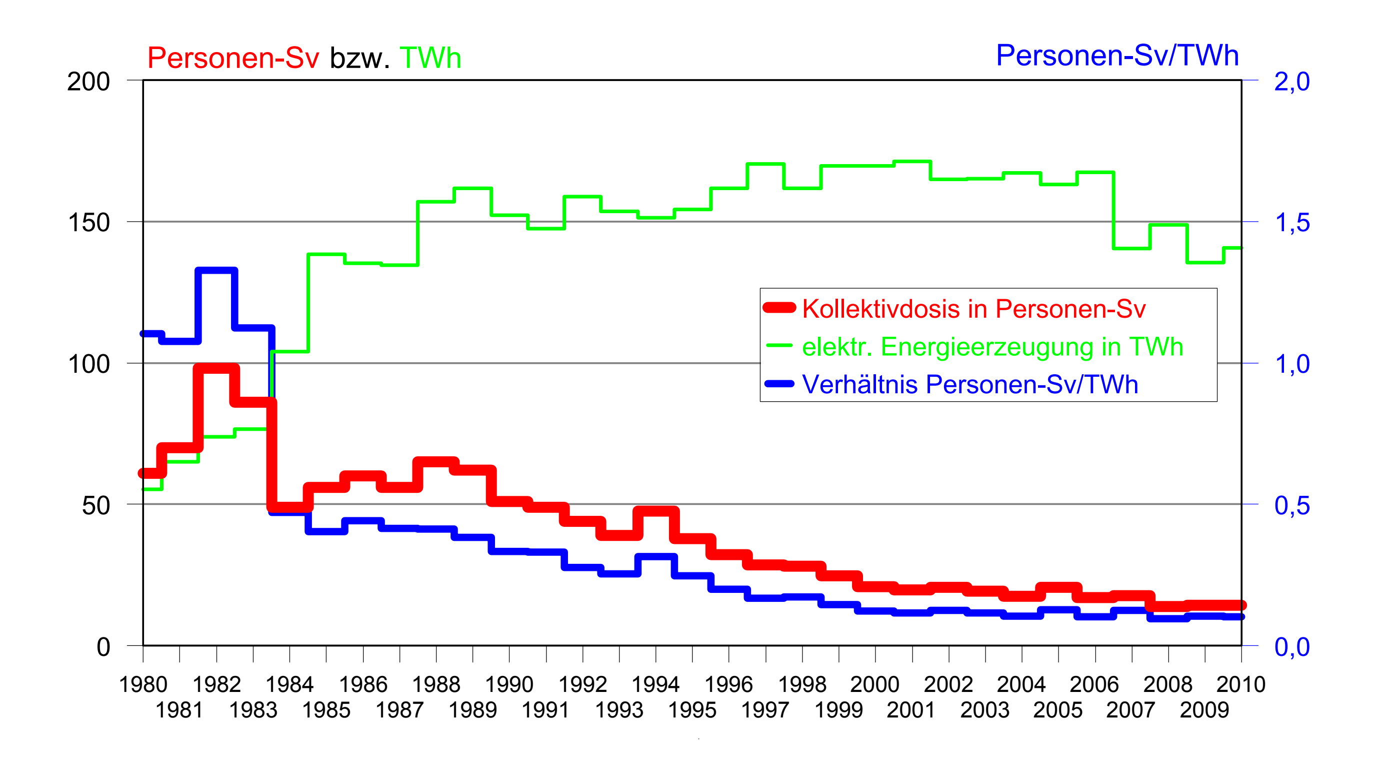


Abbildung III.1-6

Kollektivdosis und Energieerzeugung in Kernkraftwerken



werken, Schauhöhlen, Heilbädern und Sanierungsbetrieben sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in den Abbildungen III.1-1 und III.1-2 nicht enthalten. Die Dosisverteilung aller Überwachten ist in Abbildung III.1-3 dargestellt.

2.3 Sanierungsbetriebe

Bei den Beschäftigten der Wismut GmbH, die Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des ehemaligen Uranerzbergbaues ausführen, werden die durch Inhalation von Radionukliden der Uranzerfallsreihe und die durch äußere Gammastrahlung verursachten Körperdosen ermittelt. Hierzu werden Messungen mit personengetragenen Exposimetern durchgeführt.

Im Jahr 2010 wurden für 208 Beschäftigte der Sanierungsbetriebe der Wismut GmbH die Dosiswerte der durch natürliche Strahlenquellen verursachten Strahlenexposition an das Strahlenschutzregister übermittelt. Die Körperdosen durch Inhalation von Radonzerfallsprodukten und Gammastrahlung werden mit personengetragenen Messgeräten erfasst, die für alle Überwachten eine messbare effektive Jahresdosis ermitteln. Die mittlere Jahresdosis betrug 1,5 mSv, die maximale Jahresdosis 4,4 mSv. Die Kollektivdosis betrug 0,3 Personen-Sv (2009: 223 Überwachte, Mittelwert 1,1 mSv, Maximalwert 4,7 mSv).

3. Besondere Vorkommnisse

Eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der StrlSchV und der RöV (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern und Röntgeneinrichtungen sowie bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 2010 enthält Tabelle III.3-1. Die Übersicht beruht auf den Feststellungen der für den Strahlenschutz zuständigen Behörden der Bundesländer beim Vollzug der StrlSchV bzw. RöV und stellt keinen Bericht über die im Rahmen der Bekämpfung des illegalen Handels oder der Nuklearkriminalität gewonnenen Erkenntnisse dar. Sie dient dazu, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aufzuzeigen, um vergleichbare Vorkommnisse zukünftig möglichst zu vermeiden. Die Anmerkungen zum radiologischen Gefährdungspotenzial beziehen sich auf die Umstände des Einzelfalls, vor allem auf die Beschaffenheit des radioaktiven Stoffes (mit oder ohne Umhüllung bzw. undicht, Aktivität, Eindringtiefe und biologische Wirksamkeit der Strahlung) und die Art der Handhabung oder Nutzung.

Fälle erhöhter Radioaktivität in Metallschrott sind in der Übersicht aufgeführt, soweit radioaktive Quellen gefunden wurden.

Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
31.05.05 (Nachtrag)	Bestrahlung einer Person durch eine Handgepäckkontrollanlage	Verstoß gegen Strahlenschutzvorschriften	Keine (ca. 2 µSv)	keine Angaben
09.09.09 (Nachtrag)	Angebot eines Radon-Emanators (Ra-226, einige MBq) bei einer elektronischen Auktionsbörse	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
03.11.09 (Nachtrag)	Fund einer verschweißten Plastikampulle mit radioaktivem Material (Sr-90, 6 MBq) in einem Landwirtschaftsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
13.11.09 (Nachtrag)	Exposition von zwei Mitarbeitern (F-18, 4,93 MBq bzw. 0,52 MBq) bei der Synthese von F-18 in einer medizinischen Einrichtung	Freisetzung von F-18 durch abgeknickten Schlauch	Expositon unterhalb der Grenzwerte (eff. Dosis 64 µSv bzw. 6,7 µSv, Teilkörperdosis Knochenmark 99 µSv bzw. 10 µSv)	Wartung und Überprüfung
01.12.09 (Nachtrag)	Angebot einer Radiumkompresse (Ra-226, 3,7 MBq) bei einer elektronischen Auktionsbörse	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
18.12.09	Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohrs (Ra-226++, 0,2 MBq; Th-232sec, 50 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
18.12.09	Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohrs (Th-232sec, 10 kBq; Ra-226++, 60 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
21.12.09	Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohrs (Ra-226++, 0,25 MBq; Th-232sec, 60 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
06.01.10	Fund eines Radium-Trinkbechers (Ra-226, ca. 4,3 MBq) in einem Privathaushalt	Unkenntnis oder mangelnde Aufklärung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
07.01.10	Fund eines Universaldosimeters mit undichter Quelle (Ra-226, ca. 1 MBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
11.01.10	Fund einer radioaktiv kontaminierten Halterung, (Ra-226++, 80 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
18.01.10	Fund radioaktiv kontaminierter Metallteile eines Blitzableiters (Am-241, neun Plättchen mit je 37 MBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
20.01.10	Angebot von 35 Ionisationsrauchgasmeldern (Am-241, je ca. 20 kBq) bei einer elektronischen Auktionsbörse	Unterlassene Entsorgung		Anordnung der ordnungsgemäßen Entsorgung
21.01.10	Fund von 17 Ionisationsrauchmeldern bei einer Elektrorecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, Wiederverwendung oder ordnungsgemäße Entsorgung
26.01.10	Fehlbestrahlung eines Personendosimeters (158,2 mSv) eines Werkstoffprüfers	Unkorrekte Aufbewahrung des Dosimeters	Keine	Erneute Unterweisung des Mitarbeiters
26.01.10	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 0,8 MBq) in einem Schrottcontainer bei einer Hausmüllsammlung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
03.02.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohrstücks (Ra-226++, 0,5 MBq; Th-232sec, 0,2 MBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
03.02.10	Fund eines radioaktiven Aluminiumteils (Th-232, 200 kBq) im Schrott	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
08.02.10	Angebot eines Radium-Emanationsgefäßes Typ ERKO (Ra-226, ca. 0,5 MBq) bei einer elektronischen Auktionsbörse	Fund bei einer Haushaltsauflösung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
08.02.10	Fehlbestrahlung eines Patienten in einer Klinik	Menschliches Versagen und Softwarefehler	Keine	Zusätzliche Kontrollen, Softwareänderung
09.02.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Schrottpakets, (U-238sec, 3 MBq; U-235+, 0,15 MBq) bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
11.02.10	Exposition eines Mitarbeiters (F-18, 1,9 MBq) bei der Synthese von F-18 in einer medizinischen Einrichtung	Undichtigkeit der Synthese-Einheit (Reaktorgefäß oder Ventile bzw. Schlauchverbindungen)	Exposition unterhalb der Grenzwerte (effektive Dosis 24 µSv, Teilkörperdosis Knochenmark 38 µSv)	Durchführung von technischen Änderungen
16.02.10	Vorübergehender Verlust von acht Schulquellen (jeweils Ra-226, 3,3 kBq) und einem Satz Präparate (Am-241, 74 kBq; Co-60, 74 kBq; Na-22, 74 kBq; Sr-90, 74 kBq; Cs-137, 330 kBq) in einer Schule	Diebstahl	Keine	polizeiliche Ermittlungen, Sicherstellung der Quellen, Rückgabe an Eigentümer
17.02.10	Fund von radioaktiv kontaminierten medizinischen Abfällen (I-131, 35 µSv/h) in einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung, Unachtsamkeit des Personals	Keine	Separierung und abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
24.02.10	Fund eines Fläschchens mit radioaktivem Stoff (Uranylnitrat, ca. 1 MBq) bei einer Recyclingfirma	Herkunft unbekannt	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
24.02.10	Fund von radioaktiv kontaminierten medizinischen Abfällen (I-131, 65 µSv/h) in einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung, Unachtsamkeit des Personals	Keine	Separierung und abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
24.02.10	Fund eines radioaktiv kontaminerten Gerätes (Ra-226++, 270 kBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
26.02.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Stahlrohrs (Ra-226, 1,5 µSv/h am Container, 6,5 µSv/h am Fundstück) in einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
02.03.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohrs, (Ra-226++, 1 MBq; Th-232sec, 0,3 MBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
03.03.10	Fund von 2 radioaktiven Strahlern (Cs-137, je 333 kBq) in einer medizinischen Einrichtung	Unterlassene Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
09.03.10	Fund einer Strahlerkapsel an einer Spirale (Cs-137, 3 MBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
10.03.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Kompasses (Ra-226+, 280 kBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
10.03.10	Fehlbestrahlung bei einer strahlentherapeutischen Behandlung in einer medizinischen Einrichtung	Patientenverwechslung	Keine	Keine Angaben
11.03.10	Verlust von 3 radioaktiven Schulstrahlern (Sr-90, 111 kBq; Ra-226, 3 kBq; Cs-137, 18,5 MBq) in einer Schule	Verstoß gegen Strahlenschutzvorschriften	Unbekannt	Nachforschungen bisher ohne Ergebnis
11.03.10	Verlust von radioaktiven Schulstrahlern (Co-60, 166 kBq; Kr-85, 185 kBq; Na-22, 33 kBq; Th-232, 37 kBq) sowie verschiedenen Präparaten mit natürlichen radioaktiven Stoffen	Unbekannt	Unbekannt	Verlustmeldung
17.03.10	Fund von 19 Ionisationsrauchmeldern bei einer Elektrorecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, Wiederverwendung oder ordnungsgemäße Entsorgung
18.03.10	Fund von radioaktiv kontaminierten medizinischen Abfällen (I-131, 31 µSv/h) in einer Müllverbrennungsanlage	Unachtsamkeit des Personals	Keine	Separierung und abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
18.03.10	Fund eines radioaktiv kontamierten Rohrs (Cs-137, 120 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
23.03.10	Fund eines Vergrößerungsapparates mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 200 bis 500 kBq) bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
23.03.10	Verlust von 8 Tonnen mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Schrottstahlrohren (16 Bq/g) aus der Erdgasförderung	Diebstahl radioaktiver Stoffe	Unbekannt	Information der obersten Strahlenschutzbehörde und der Schrotthändler der Region
24.03.10	Fund von radioaktiv kontaminiertem medizinischen Abfall (I-131) aus einem Krankenhaus bei einer Müllverbrennungsanlage	Versehentliche Vermischung von radioaktivem und konventionellem Abfall	Nach Abschätzung max. 65 µSv Ganzkörperdosis für Mitarbeiter der Müllverbrennungsanlage	Organisatorische Maßnahmen zur besseren Einweisung und Schulung des Reinigungspersonals im betreffenden Krankenhaus
25.03.10	Fehlbestrahlung einer Patientin an einem Beschleuniger in einer nuklearmedizinischen Einrichtung	Verwechslung von Patienten	Keine	Änderung des Verfahrensablaufes

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
April 2010	Fehlbestrahlung eines Patientenfußes	Falsche Einstellung der Bestrahlungsfraktionen im Bestrahlungsplan	Mehrbelastung von 40 Gray, Beschwerden am behandelten Fuß	Einführung zusätzlicher Kontroll- und Freigabeschritte bei der Bestrahlungsplanung; Ärztliche Überwachung des Patienten
06.04.10	Fund eines Nivellierungsgerätes mit einer radioaktiv markierten Glaslibelle (Ra-226, ca. 100 kBq) im Container eines Abfallbetriebs	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
08.04.10	Fund radioaktiv kontaminierter Laborgegenstände (Ra-226, ca. 400 kBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
09.04.10	Fund von 4 Prüfstrahlern (Cs-137, 100 kBq) in einem Museum	Ungeprüfte Übernahme von Messgeräten	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.04.10	Fund einer Armatur mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 540 kBq) bei einer Rohstoffhandel-Firma	Herkunft unbekannt	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.04.10	Fund von zwei radioaktiv kontaminierten Blechpaketen (Cs-137, 0,5 MBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
21.04.10	Exposition eines Mitarbeiters einer Prüffirma durch eine Gammaquelle (Ir-192, 1,8 TBq) bei der Reparatur eines Gammaradiografiegerätes	Versagen der Quellenrückführung	Exposition des Mitarbeiters mit max. 1 mSv	Sicherstellung der Quelle, technische Überprüfung
23.04.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallzylinders (Ra-226+, 1 MBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
27.04.10	Fund eines Prüfstrahlers (Cs-137, ca. 0,5 µSv/h an der Geräteaußenseite) auf einem Firmengelände	Unkenntnis über vorhandene Quelle	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
04.05.10	Fund einer Flasche mit radioaktivem Material (Th-232, ca. 90 kBq) bei einer Hausdurchsuchung	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	Keine	Sicherstellung
05.05.10	Fund einer radioaktiven Strahlenquelle (Ra-226, ca. 4 MBq) bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
18.05.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Stahlteils (Co-60, 650 kBq) auf dem Gelände eines Schrottbetriebes	Unbekannt	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
18.05.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Messingrohrs (Ra-226, 28 µSv/h am Fundstück) in einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
18.05.10	Fund von radioaktiv kontaminiertem Krankenhausmüll (In-111, 0,3 µSv/h am Container) in einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
19.05.10	Fund einer aus einem Ionisationsrauchmelder ausgebauten radioaktiven Quelle (Am-241, ca. 2,7 MBq) bei einer Firma	Mangelnde Dokumentation	Keine	Sichere Aufbewahrung und anschließende weitere Verwendung zu Forschungszwecken
21.05.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallteils (Ra-226++, 0,2 MBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
25.05.10	Fund von zwei Radiumpräparaten (insges. ca. 4,5 MBq) bei der Entrümpelung eines Privathauses	Unterlassene Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
26.05.10	Fund einer undichten Cerberus-Röhre (Ra-226, ca. 200 kBq) in einem Entsorgungsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
26.05.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallteils (Ra-226, 18 µSv/h am Objekt) in einer Metallrecyclinganlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
27.05.10	Fund von radioaktiv kontaminiertem Müll (Tc-99m, 1,7 µSv/h am Müllfahrzeug) in einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Freigabe zur Verbrennung nach Abklingzeit
01.06.10 - 30.06.10	Verlust von 6 Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 18,5 kBq) bei einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Meldung an die zuständigen Behörden
07.06.10	Verlust von 47 lonisationsrauchmeldern (Am-241, je 14,8 kBq) bei Sanierungs- und Abrissarbeiten an einem Gebäude	Unzulässige Entsorgung infolge mangelhafter Informationen zwischen den verantwortlichen Personen	Keine	Verstärkte Information entsprechender Genehmigungsinhaber und Immobiliengesellschaften
09.06.10	Fund von 14 Ionisationsrauchmeldern eines Fachmarktzentrums in einem Bauschuttcontainer	Keine Separierung der zu entsorgenden Materialien	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
10.06.10	Fehlbestrahlung einer Patientin in einem Klinikum	Keine Überprüfung der Patientenidentifikation und des Bestrahlungsabgleichs nach Schichtwechsel	Mehrbelastung von 1,8 Gy, nach Einschätzung der medizinischen Einrichtung keine Schäden für den Patienten	Änderung der Arbeitsorganisation
14.06.10	Entsorgung eines Gaschromatographen (H-3, ca .1 GBq) über eine Elektronikschrottfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
15.06.10	Kontamination einer MTA in einer nuklearmedizinischen Klinik	Unterlassung der Absperrung eines kontaminierten Arbeitsplatzes	Maximal 140 mSv (Y-90)	Sofortige Dekontamination, medizinische Betreuung, vorübergehende Sperrung des Raumes
15.06.10	Fund radioaktiver Stoffe (Am-241, 220 kBq; Ra-226, 180 kBq; U-235, 500 kBq; Th-232, 47 kBq) in unterschiedlichen Zusammensetzungen in einer Privatwohnung	Verstoß gegen Strahlenschutzvorschriften	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
21.06.10	Verlust von 24 lonisationsrauchmeldern (Ra-226, je 2,22 kBq) nach Sanierungsarbeiten durch irrtümliche Verbrennung in einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung infolge mangelhafter Informationen zwischen den verantwortlichen Personen	Keine	Verstärkte Information entsprechender Genehmigungsinhaber und Immobiliengesellschaften
24.06.10	Fund von radioaktiv kontaminierten medizinischen Abfällen (I-131, 2,2 µSv/h) in einer Müllverbrennungsanlage	Unachtsamkeit des Personals	Keine	Separierung und abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
28.06.10	Fund von 21 Ionisationsrauchmeldern bei einer Elektrorecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Prüfung auf Wiederverwendung oder ordnungsgemäße Entsorgung
29.06.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Messinstruments (Ra-226, 130 kBq) in einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
30.06.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Stahlrohres an einem Container (Ra-226) bei einem Schrotthändler	Unkenntnis über radioaktive Kontamination bei der Montage	Keine	Demontage und Entsorgung des Rohres
30.06.10	Bestrahlung einer MTRA durch vorzeitiges Auslösen des Beschleunigers in einer Klinik	Fehlendes Personenschutzsystem, keine Überprüfung der anwesenden Personen	Exposition maximal 12 µSv	Außerordentliche Unterweisungen der MTRA, Einführung eines Personenschutzsystems
05.07.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohrs (Ra-226++, 0,3 MBq; Th-232, 60 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
07.07.10	Fund von 2 Seeds (I-125) nach einer Operation	Übersehen der Seeds trotz vorliegender Informationen	Keine	Überarbeitung der Handlungsanweisung
13.07.10	Fund einer radioaktiv kontaminierten Metallscheibe (Ra-226+, 50 kBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
13.07.10	Fund von 350 t radioaktiv kontaminierten Metallspänen, (Co-60, 3 Bq/g) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Reinigung des Transportfahrzeugs (Schiff), Rückführung an den Lieferanten

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
13.07.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohrs (Ra-226++, 0,2 MBq; Th-232, 160 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
14.07.10	Fund von diversen radioaktiv kontaminierten Materialien bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.07.10	Unfall eines LKW mit Versandstücken mit radioaktivem Material (24 Packstücke, 64 GBq gesamt)	Unfall	Keine	Belehrung über Meldepflicht
15.07.10	Fund von 6 Fässern mit radioaktiv kontaminierter Verbrennungsasche (Ra-226, bis 3,7 µSv/h) von Putztüchern aus der Schmuckherstellung	Radiumrückstände beim Herstellungsprozess der Edelmetalle	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
19.07.10	Fehlbestrahlung einer Patientin (vorgesehene Dosis um Faktor 4,6 überschritten, Zielvolumen siebenmal vergrößert) in einer Klinik	Patientenverwechslung	Keine akuten Folgen, jedoch deutlich erhöhtes Risiko von Spätfolgen	Änderung der Dienstanweisung, Verwendung eines zusätzlichen technischen Hilfssystems zur Patientenidentifikation
21.07.10	Verlust von 2 Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 29,6 kBq) in einem öffentlichen Gebäude	Unbekannt	Keine	Nachforschungen bisher erfolglos
22.07.10	Fund eines Pakets mit 30 Seeds (Pd-103, ca. 1,5 GBq) an einem Flughafen	Verstoß gegen Transportvorschriften	Keine	Sicherstellung, polizeiliche Ermittlung
23.07.10	Fund eines Fläschchens mit radioaktivem Material (Thoriumdioxid; ca. 30 kBq) bei einem Wertstoffhof	Unbekannt	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.07.10	Fund eines Ziffernblatts mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 50 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
27.07.10	Fund kontaminierter Edelstahlteile bei einer Schrott- und Metallhandelsfirma	Vermutlich unzulässige Co-60-Beimischung im Ausgangsmaterial	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
30.07.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Betonbrockens (Ra-226, 70 kBq; U-235, 5 kBq; U-238, 100 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Natürliche Radioaktivität	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
02.08.10	Brand eines Kleintransporters mit Versandstücken, die radioaktives Material enthielten (I-125, insgesamt 3,98 MBq)	Unfall, Brand	Keine	Messungen vor Ort, Weitertransport mit Ersatzfahrzeug
03.08.10	Fund einer Zieleinrichtung mit Tritumvisier (H-3, 1,9 GBq) bei einer Privatperson	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	Keine	Sicherstellung, Polizeiliche Ermittlungen

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
08.08.10	Fund einer umschlossenen radioaktiven Strahlenquelle (Cs-137, 0,5 GBq) im Asphalt einer öffentlichen Straße	Unbekannt	Keine	Bergung, ordnungsgemäße Entsorgung
09.08.10	Fund von uranhaltigen Glasperlen (abgereichertes Uran) bei einer Firma	Verstoß gegen Strahlenschutzvorschriften	Keine	Sicherstellung, Rücktransport zum Hersteller, Information der zuständigen Behörden
10.08.10	Fund eines Fläschchens mit radioaktivem Material (Ammoniumdiuranat; ca. 1 MBq) bei einem Recyclinghof	Unzulässige Entsorgung durch eine Schuleinrichtung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung, vorsorglich Information entsprechender Schulen
11.08.10	Fund einer radioaktiv kontaminierten Tresortür (geringfügig über dem Nulleffekt) im Schrott bei einem Stahlwerk	Natürliche Radioaktivität	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
11.08.10	Beschädigung einer Troxlersonde (Cs-137, 300 MBq) bei Straßenbauarbeiten	Allgemeines menschliches Versagen	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
12.08.10	Fund eines Kompasses mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, ca. 500 kBq) in einem Entsorgungsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Unbekannt	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
12.08.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Stahlrohrstücks, (Ra-226, ca. 50 kBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
13.08.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Drahtsiebs (Ra-226+, 170 kBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
16.08.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Scherenteils (Cs-137, 30 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
16.08.10	Fund eines radioaktiv kontaminiertem Scherenteils (Ra-226, 800 kBq; U-235, 40 kBq; U-238, 800 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
18.08.10	Fund eines Versandstückes mit radioaktivem Inhalt (13 Seeds je 3,6 MBq Pd-103) auf einem Flughafen	Unzulässige Beförderung eines Versandstückes mit radioaktivem Inhalt	Nach Abschätzung max. 1 µSv Ganzkörperdosis für Mitarbeiter der adressierten Firma, der Feuerwehr und des Transporteurs	Intensive Recherche, ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
18.08.10	Fund von zwei radioaktiv kontaminierten Metallsieben (Ra-226++, 750 kBq und 250 kBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
18.08.10	Rückweisung von radioaktiv kontaminierten Stahlprodukten (Co-60, 96 Stück mit je 8,2 kBq) nach Deutschland	Verarbeitung von kontaminiertem Stahl	Gering	Überführung zum Hersteller zwecks Maßnahmen durch die zuständige Aufsichtsbehörde
19.08.10	Erhöhte Werte der Ortsdosisleistung (bis 82 µSv/h) bei Dichtheitsmessungen mit einer Röntgenröhre auf dem Gelände einer Firma	Unterlassung erforderlicher Absperrmaßnahmen	Keine	Absperrungen auf dem Gelände
19.08.10	Fund radioaktiver Stoffe im Bauschutt (Co-60; 12,1 Bq/g und Cs-137; 34,8 Bq/g) in einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Unbekannt	Polizeiliche Ermittlungen
21.08.10	Fund einer radioaktiv kontaminierten Metallklemme (Ra-226, 2 MBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
26.08.10	Beschädigung einer Troxlersonde (Cs-137, 300 MBq) bei Straßenbauarbeiten	Allgemeines menschliches Versagen	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
30.08.10	Fund von Schaltern mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, ca. 120 kBq) aus einem ausgemusterten Panzer bei einer Privatperson	Unbekannt	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
30.08.10	Fund von 23 lonisationsrauchgasmeldern (Am-241, 35 kBq/Stück)	Unbekannt	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Abgabe an eine Firma mit Umgangsgenehmigung
01.09.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Gegenstandes (Ra-226, 28,3 µSv/h) bei einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
09.09.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallteils (Ra-226, ca. 200 kBq) bei einem Entsorgungsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Unbekannt	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
16.09.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Stahlrohrs (Ra-226, 7,5 µSv/h am Fundstück) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.09.10	Fund radioaktiv kontaminierter Textilien (I-131) auf einer Mülldeponie	Unzulässige Entsorgung, Herkunft unbekannt	Keine	Separierung bis die Radioaktivität abgeklungen ist, danach konventionelle Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
21.09.10	Fund von Schmuck-Glasperlen mit radioaktiven Zusätzen (U-238 und U-234) bei einer Firma	Unkenntnis bzgl. des radioaktiven Zusatzes	Keine	Sicherstellung der Warensendung, Dosisabschätzung, Rücksendung an den Lieferanten im Ausland
24.09.10	Fund einer umschlossenen Strahlenquelle (Ra-226, ca. 177 kBq) bei der Eingangsmessung in einem Entsorgungsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
27.09.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallteils (Ra-226, bis 100 µSv/h am Fundstück) bei einem Rohstoffverwerter	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
30.09.10	Fund von radioaktiv kontaminierten medizinischen Abfällen (I-131, 3,4 MBq) in einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung und abklingen lassen, ordnungsgemäße Entsorgung
07.10.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten OP-Absaugbeutels (I-131, 98 µSv/h am Fundstück) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Nach Abklingen Entsorgung
07.10.10	Fund einer radioaktiv kontaminierten Messskala (Ra-226, 270 kBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
09.10.10	Fund eines kontaminierten Stahlrohrs (Ra-226, 4,0 µSv/h am Fundstück) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
12.10.10	Fund einer radioaktiv kontaminierten Metallkapsel (Ra-226, 1,3 µSv/h am Fundstück) in einer medizinischen Einrichtung	Unterlassung der vorgeschriebenen Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
12.10.10	Fund einer radioaktiv kontaminierten Kunststoffkugel (Ra-226, 90 µSv/h am Fundstück) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
19.10.10	Fund von radioaktiven Kontaminationen in einem Schrottcontainer (Ra-226, 0,15 µSv/h am Container) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.10.10	Fund von zwei radioaktiven Kontrollstrahlern (Sr-90, 3,7 kBq und 3,7 MBq) in einer medizinischen Einrichtung	Unbekannt	Keine	Abgabe an die Landessammelstelle
21.10.10	Fund eines Strahlers (Ra-226, 0,06 mg) in einem Technik-Museum	Herkunft unbekannt	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
22.10.10	Fund einer radioaktiven Quelle (Cs-137, 128 kBq) bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
25.10.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohrs (Ra-226++, 20 kBq; Th-232, 10 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
25.10.10	Fund eines Messgerätes mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 10 kBq; Th-232, 0,2 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
26.10.10	Fund einer radioaktiv kontaminierten Metallkette (U-238sec, 0,2 MBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
27.10.10	Fund von natürlichem radioaktivem Material (Gesteinsstufen, 2,5 kg, Ra-226++, 25 MBq) in einer Abfallverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Unbekannt	Separierung, Bestimmung und Rückführung, Abgabe an die Landessammelstelle
01.11.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallsiebs (Ra-226, 1 MBq) in einer Abfallbehandlungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Abgabe an die Landessammelstelle
02.11.10	Fund von 5 Ionisationsrauchmeldern bei einer Elektrorecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, Wiederverwendung oder ordnungsgemäße Entsorgung
05.11.10	Fund eines Anzeigeinstruments mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, ca. 200 kBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
05.11.10	Fund eines Radium-Trinkbechers (Ra-226, ca. 5 MBq) im Hausmüll in einer Recyclinganlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
08.11.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Stahlrohrs (Ra-226, 4,0 µSv/h am Fundstück) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
11.11.10	Aufenthalt einer MTA in der Schleuse eines medizinischen Beschleunigers bei der Strahlauslösung	Übersehen der Person, da sie außerhalb des Blickwinkels der Überwachungskameras war	Keine	Keine, Betätigung des Notschalters erfolgte rechtzeitig
15.11.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Schalters (Ra-226++, 30 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
16.11.10	Fund von radioaktiv kontaminierten Trimmgewichten aus der Luftfahrtindustrie (U-238+, 138 MBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
18.11.10	Fund von zwei radioaktiv kontaminierten Tresortüren (Ra-226++, 0,8 kBq, Th-232, 0,25 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Natürliche Radioaktivität	Keine, da spezifische Aktivitäten unterhalb der Freigrenze	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung ohne weitere Separierung

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
19.11.10	Fund von radioaktiven Strahlern in einer ehemaligen medizinischen Einrichtung	Verstoß gegen Strahlenschutzvorschriften	Keine, da Dosisleistung im Bereich der Untergrundstrahlung	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
23.11.10	Fund eines radioaktiven Strahlers (Ra-226, 1,9 MBq) in einem Elektronik-Recycling-Betrieb	Unzulässige Entsorgung	Unbekannt	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
25.11.10	Fund von 18 Ionisationsrauchmeldern (Am-241: 9 x 15 kBq, 1 x 18,5 kBq, 1 x 25,9 kBq; Kr-85: 3 x 18,5 MBq; Ra-226: 4 x 2,96 kBq) bei einer Recycling Firma für elektronische Produkte	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, Prüfung auf Wiederverwendung, ggf. ordnungsgemäße Entsorgung
01.12.10	Exposition von vier illegal in einem LKW versteckten Personen beim Durchfahren einer Durchleuchtungsanlage	Trotz vorheriger Information des LKW-Fahrers kein Hinweis auf Personen durch den Fahrer	Keine	Unbekannt
02.12.10	Fund von Thoriumnitrat (ca. 30 kBq) bei einem Wertstoffhof	Unbekannt	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
08.12.10	Fund von mindestens 200 Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 29,6 kBq)	Unsachgemäße Lagerung	Unbekannt	Weitere Untersuchungen, Ermittlungsverfahren läuft
08.12.10	Fund von radioaktiv kontaminiertem Scherenschrott (Cs-137+, 0,56 kBq; Ra-226++, 10 kBq; Th-232, 70 kBq) bei einem Stahlwerk	Natürliche und künstliche Radioaktivität	Keine, da spezifische Aktivitäten unterhalb der Freigrenze	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung ohne weitere Separierung
08.12.10	Exposition einer Person in den Räumen eines Linearbeschleunigers in einer Klinik	Einschalten des Beschleunigers trotz Anwesenheit der Person	Keine	Auswertung des Personendosimeters
10.12.10	Beschädigung einer Troxlersonde (Cs-137, 300 MBq) bei Straßenbauarbeiten	Allgemeines menschliches Versagen	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
15.12.10	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallteils (Ra-226, 200 kBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
15.12.10	Fund von radioaktiv kontaminiertem Kupferkonzentrat (Ra-226) in einer Firma	Unterlassene Kontrollen	Gering	Gutachtenerstellung, Weiterverarbeitung, Entsorgung
16.12.10	Fehlbestrahlung eines Patienten an einem Linearbeschleuniger in einer Klinik	Fehlfunktion am Gerät	Unbekannt	Fehlersuche und Behebung durch Serviceteam der Herstellerfirma

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
16.12.10	Fund von radioaktiv kontaminiertem Scherenschrott (Ra-226, 100 kBq) bei einem Stahlwerk	Natürliche Radioaktivität	Keine, da spezifische Aktivitäten unterhalb der Freigrenze	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung ohne weitere Separierung
16.12.10	Verlust eines Prüfstrahlers (Fe-55, 1,28 MBq) aus einer Forschungseinrichtung	Unbekannt	Keine	Nachforschungen bisher erfolglos

IV. Medizinische Strahlenexposition

Die medizinische Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe hat bei Diagnostik und Therapie in der Bundesrepublik Deutschland einen hohen Stand erreicht. Sowohl bei der Indikationsstellung als auch bei der Durchführung werden hohe Qualitätsanforderungen gestellt. Nach der StrlSchVund der RöV muss jede Anwendung im Einzelfall gerechtfertigt sein. Darüber hinaus ist die durch die medizinische Anwendung bedingte Strahlenexposition soweit zu reduzieren, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist. Es ist in jedem Fall zu prüfen, ob durch diagnostische oder therapeutische Maßnahmen ohne Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe der gewünschte medizinische Effekt ebenfalls erzielt werden kann.

Mit Inkrafttreten der novellierten StrlSchV im Jahr 2001 und der novellierten RöV im Jahr 2002 und der dazugehörigen Richtlinien zur Qualitätssicherung wurde insbesondere der Schutz der Patientinnen und Patienten wesentlich verbessert mit dem mittelfristigen Ziel, die Dosis pro Untersuchung zu reduzieren. Vor der Entscheidung, ob und ggf. wie ionisierende Strahlung und radioaktive Stoffe am Menschen angewendet werden, steht die „rechtfertigende Indikation“, mit der der Arzt bzw. die Ärztin mit der erforderlichen Fachkunde im Strahlenschutz die Notwendigkeit der Anwendung durch eine Nutzen-Risiko-Abwägung für den individuellen Patienten feststellt. Nach Einschätzung des BfS wird die rechtfertigende Indikation aus verschiedenen Gründen leider nicht immer so restriktiv gestellt, wie dies sowohl unter strahlenhygienischen als auch unter gesundheitsökonomischen Gesichtspunkten notwendig ist. Daher wurde von der Strahlenschutzkommission gemeinsam mit den medizinischen Fachgesellschaften eine Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen erarbeitet, die 2006 erstmals und 2008 in aktualisierter Form veröffentlicht wurde[6].

Darüber hinaus erfolgt nach § 83 StrlSchV und § 17a RöV eine Überprüfung der Indikationsstellung durch die ärztlichen und zahnärztlichen Stellen (ÄS). Weiterhin wurden die Anforderungen an die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz und an die Kenntnisse der Personen, die ionisierende Strahlung oder radioaktive Stoffe anwenden bzw. entsprechende Untersuchungen am Menschen durchführen, erhöht. Als Mittel zur Optimierung des Strahlenschutzes in der radiologischen Diagnostik sind in der Nuklearmedizin wie auch in der Röntgendiagnostik diagnostische Referenzwerte (DRW) zu beachten. Ziel ist es, im Rahmen der Überwachung durch die Ärztliche n Stellen Anwender zu finden, bei denen die Dosiswerte ständig ungerechtfertigt über den DRW liegen, und die ggf. vorhandenen systematischen Fehler aufzeigen und beseitigen zu können.

1. Röntgendiagnostik

Das BfS erhebt seit Anfang der 1990er Jahre im Auftrag des BMU Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus. Mit Inkrafttreten der novellierten RöV im Jahr 2002 wurde dem BfS die regelmäßige Ermittlung der medizinischen Strahlenbelastung der Bevölkerung als Amtsaufgabe übertragen.

Ärztliche Leistungen werden über spezielle Gebührenziffern abgerechnet, die die medizinischen Leistungen und damit auch die hier interessierenden radiologischen Maßnahmen beschreiben. Da ca. 98% der deutschen Bevölkerung gesetzlich oder privat krankenversichert sind, kann die Häufigkeit röntgendiagnostischer Untersuchungen gut mithilfe dieser Gebührenziffern abgeschätzt werden. Diese werden dem BfS von den Kostenträgern (d.h. der kassenärztlichen und kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung sowie dem Verband der privaten Krankenversicherung) zur Verfügung gestellt. Es besteht ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer zum BfS.

Die aktuelle Auswertung der Daten zur Häufigkeit und Dosis von Röntgenuntersuchungen in Deutschland bezieht sich auf die Jahre 1996 bis 2009. Für die Analyse der Daten wird ein standardisiertes Verfahren eingesetzt, mit dem eine einheitliche Auswertung von Zeitreihen und damit eine Trendanalyse möglich ist. Im Bewusstsein, dass systematische Fehler unvermeidbar sind, wird durch die Standardisierung angestrebt, diese Fehler zumindest möglichst konstant zu halten, um dadurch insbesondere

6 SSK, Orientierungshilfe für bildgebende Untersuchungen, Bonn 2008 www.ssk.de/de/werke/2008/volltext/ssk0813.pdf

Abbildung IV.1-1

Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland

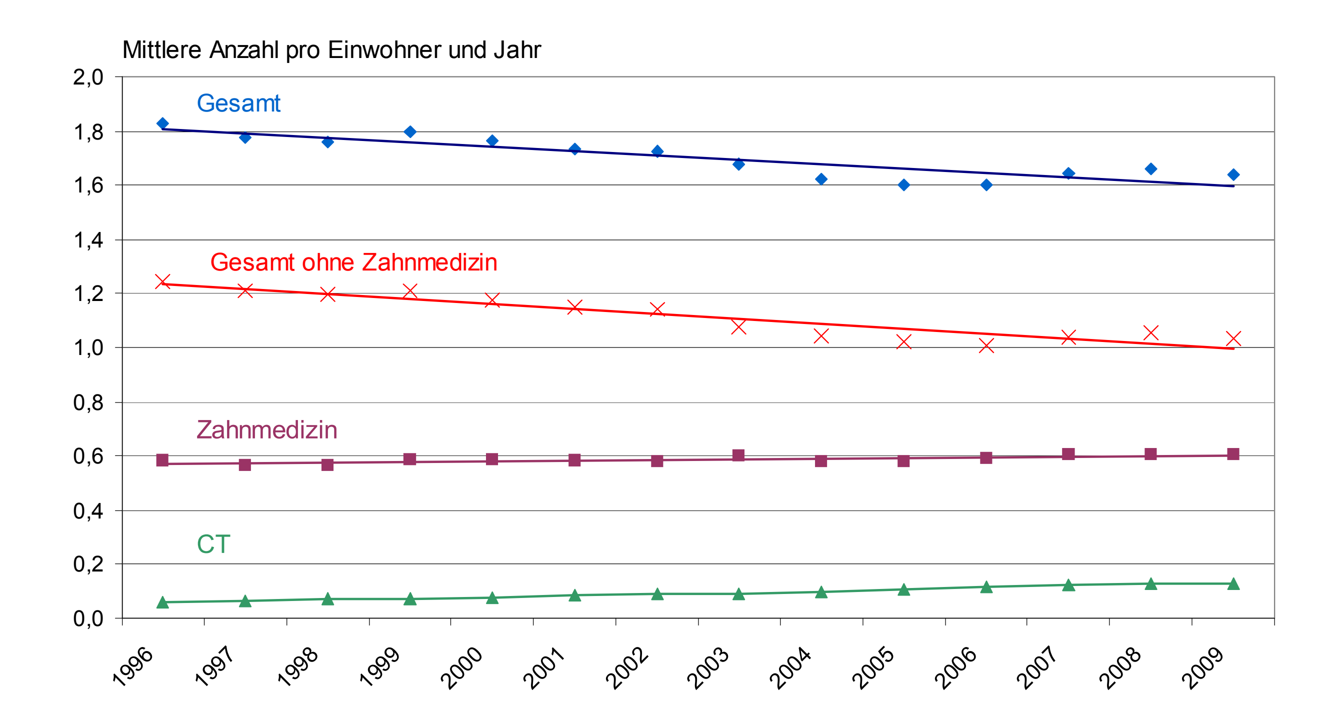


Abbildung IV.1-2

Vergleich der Häufigkeit von CT- und MRT-Untersuchungen in Deutschland

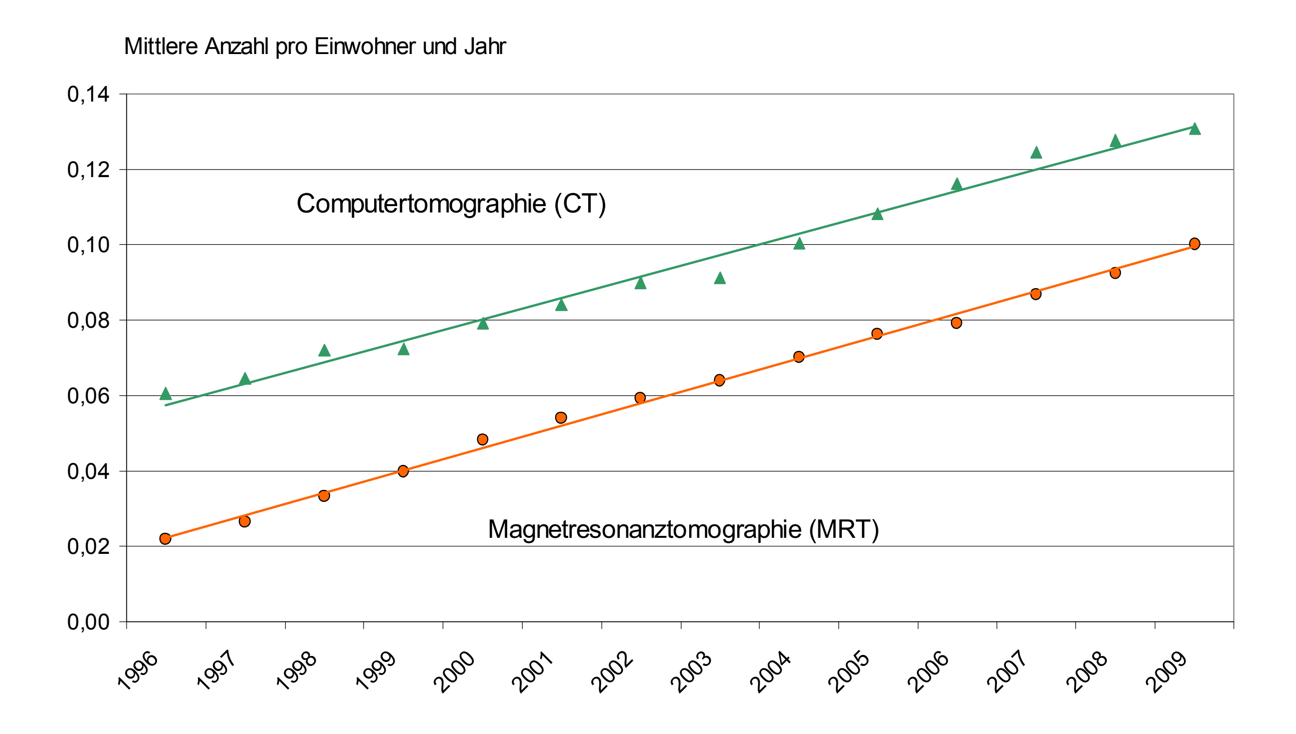
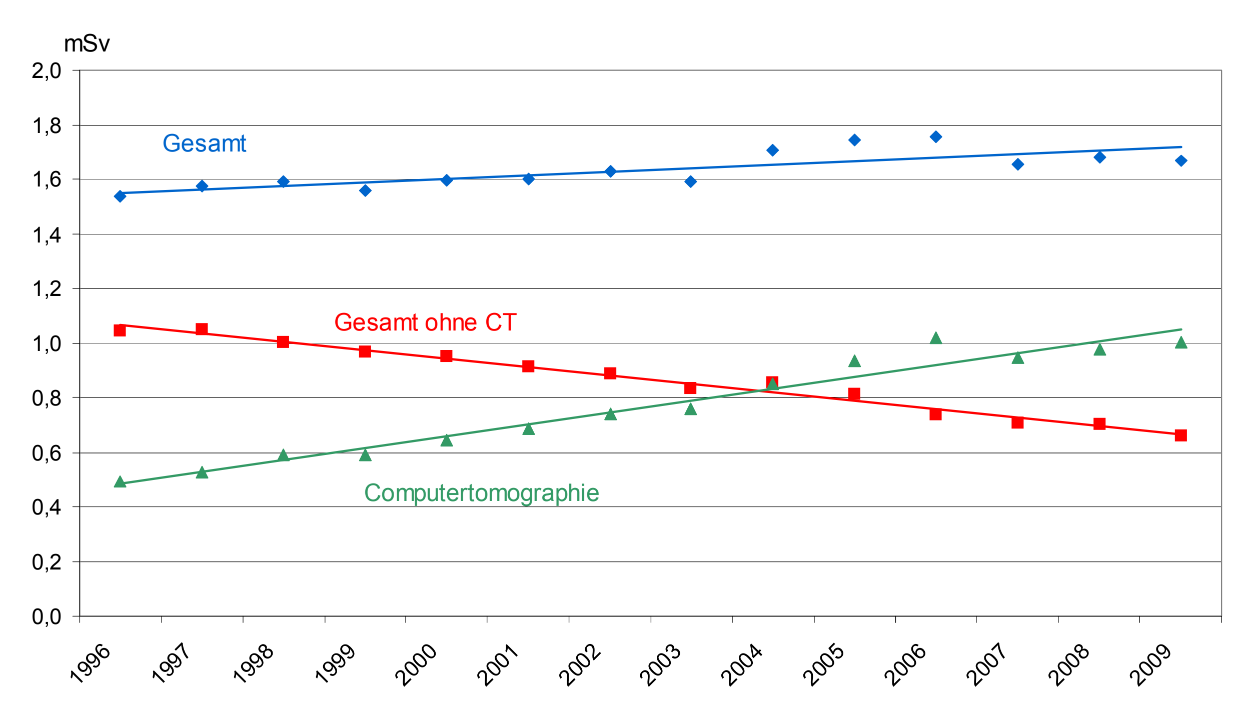


Abbildung IV.1-3

Mittlere effektive Dosis durch Röntgenuntersuchungen mit und ohne CT sowie Dosisansteil durch CT pro Einwohner und Jahr (mSv)



Trends möglichst frühzeitig und sicher erfassen zu können.

Für die Auswertung werden aktuelle Erhebungen zur Untersuchungspraxis bei der Computertomographie in Deutschland sowie die Ergebnisse neuerer, vom BMU geförderter Forschungsvorhaben (bundesweite Erhebung zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich für das Jahr 2002, Erhebungen zur Dosisermittlung im konventionellen Bereich, Erhebung zur Differenzierung von nicht eindeutig definierten Gebührenziffern) sowie die aktuelle Literatur berücksichtigt. Durch den Zugewinn neuer Erkenntnisse erhöht sich im Laufe der Zeit die Genauigkeit der Schätzungen zu Häufigkeit und Dosis von Röntgenanwendungen. Da ursprünglich vereinfachende und teilweise sehr konservative Annahmen nunmehr sukzessive durch realistischere Schätzungen ersetzt wurden, können sich im Vergleich zu den Abschätzungen in den Vorjahresberichten geringfügig abweichende Werte ergeben. Hierbei ist zu beachten, dass die jährlichen Modellanpassungen stets auch auf die Vorjahresdaten angewendet werden, um zeitliche Trends sicherer beurteilen zu können.

Ergebnisse der aktuellen Auswertung für die Jahre 1996 bis 2009

Im Folgenden beinhaltet der Begriff „Untersuchung" – gemäß internationaler Standards – alle Röntgenleistungen, die – bezogen auf ein Organ – zur Beantwortung einer klinischen Fragestellung mittels einer Röntgenmodalität (konventionelle Röntgenuntersuchung, Durchleuchtung, CT) notwendig sind. So wird z.B. bei einer Angiographie am Herzen nicht jeder Teilschritt (Kontrastmitteleinbringung, 1. Serie, 2. Serie, etc.) als getrennte Untersuchung gezählt, sondern alle Teilschritte zusammen als eine Untersuchung. Zahnaufnahmen werden als gesonderte Untersuchungen gerechnet, wenn sie unterschiedliche Zähne bzw. Zahngruppen betreffen.

Die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland nahm während des betrachteten Zeitraums 1996 bis 2009 insgesamt ab. Für die Jahre 2007 bis 2009 sind die Werte gegenüber 2006 leicht erhöht. Dies ist im Wesentlichen auf die Einführung des Mammographie-Screening-Programms (MSP) in Deutschland und der damit einhergehenden - seit 2007 recht deutlichen - Zunahme der Mammographien im ambulanten kassenärztlichen Bereich zurückzuführen. Ohne Mammographien aus dem MSP - einseitig gezählt - läge der Wert für 2009 etwa 4% niedriger und damit unterhalb des Wertes für 2006. Der Wert für die Gesamthäufigkeit für das Jahr 2009 liegt bei etwa 1,64 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner (siehe Abbildung IV.1-1). Die zahnmedizinische Röntgendiagnostik beläuft sich nahezu konstant auf etwa 0,6 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner, was ca. einem Drittel der Gesamtanzahl der Röntgenuntersuchungen entspricht. Neben den zahnmedizinischen Untersuchungen entfällt der größte Teil aller Röntgenuntersuchungen auf das Skelett (d.h. Schädel, Schultergürtel, Wirbelsäule, Beckengürtel, Extremitäten) und auf den Brustkorb (Thorax, vergleiche auch Abbildung IV.1-4) .

Tabelle IV.1-1

Typische Werte für die effektive Dosis häufig durchgeführter Röntgenuntersuchungen

Untersuchungsart	effektive Dosis E [mSv]
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	≤ 0,01
Extremitäten (Gliedmaßen)	< 0,01 - 0,1
Schädelaufnahme a.p.	0,03 - 0,06
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,1 - 0,2
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 - 0,04
Mammographie beidseits in je 2 Ebenen	0,2 -0,4
Brustwirbelsäule in 2 Ebenen	0,2 - 0,5
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,6 - 1,1
Beckenübersicht	0,3 - 0,7
Bauchraum (Abdomenübersicht)	0,3 - 0,7
Röntgenuntersuchungen mit Aufnahmen und Durchleuchtung	
Magen	4 - 8
Darm (Dünndarm bzw. Kolonkontrasteinlauf)	5 - 12
Koronarangiographie	4 - 7
PTCA*	6 - 16
Bein-Becken-Phlebographie (ein Bein)	0,3 - 0,7
Bein-Becken-Arteriographie	5 - 9
CT-Untersuchungen†	
Hirnschädel	1,7 - 2,3
Lendenwirbelsäule	4,8 - 8,7
Brustkorb (Thorax)	4,2 - 6,7
Bauchraum (Abdomen)	8,8 - 16,4

* Perkutane transluminale koronare Angiographie zur Herzkranzgefäß-Erweiterung

† typische CT (Computertomographie)-Untersuchung, ggf. nativ und nach Kontrastmittelgabe

In der Trendanalyse ist am auffälligsten die stetige Zunahme der Computertomographie (CT)-Untersuchungen – insgesamt hat sich die Anzahl der CT-Untersuchungen zwischen 1996 und 2009 mehr als verdoppelt (siehe Abbildung IV.1-1 und IV.1-2). Ein erheblicher Anstieg ist auch bei den bildgebenden Untersuchungsverfahren, die keine ionisierende Strahlung verwenden, zu verzeichnen, insbesondere bei der Magnetresonanztomographie (MRT, beinahe Verfünffachung der Untersuchungs-Anzahl über den Zeitraum 1996 bis 2009, siehe Abbildung IV.1-2). Welches der beiden Verfahren im Einzelfall anzuwenden ist, hängt von der diagnostischen Fragestellung, der klinischen Situation (Notfall) und natürlich auch der Verfügbarkeit ab.

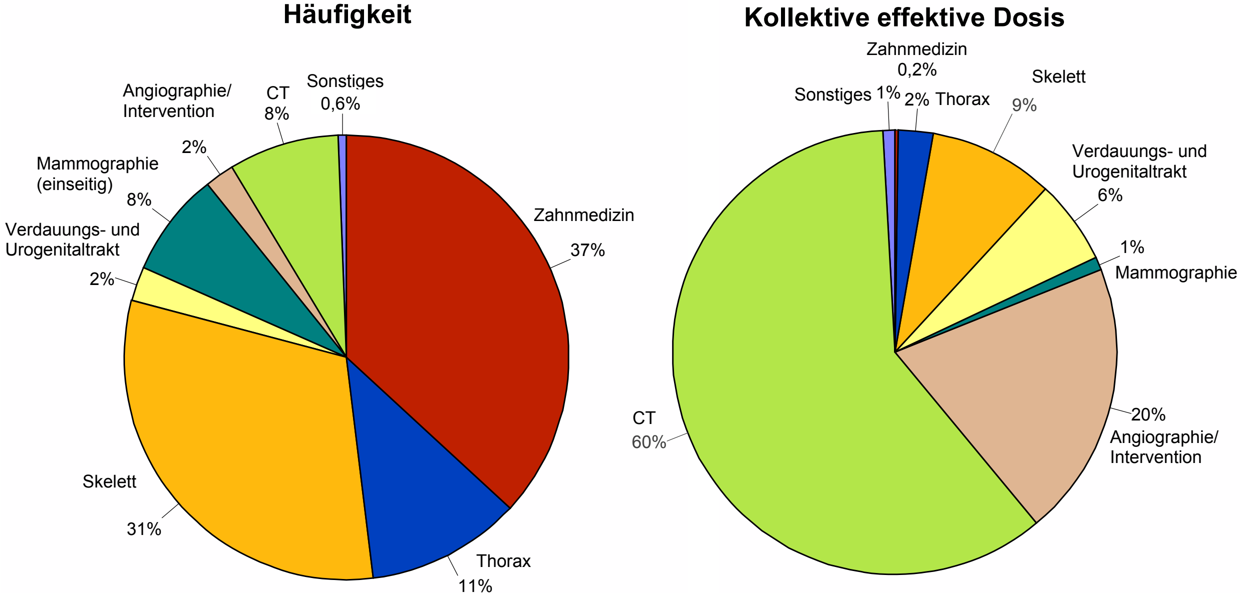
Im Gegensatz zur CT hat die Anzahl der konventionellen Röntgenuntersuchungen des Schädels, des Thorax, der Wirbelsäule und des Bauchraumes einschließlich des Verdauungs- und des Urogenitaltrakts abgenommen.

In Tabelle IV.1-1 sind für häufige Röntgenuntersuchungen die Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis dargestellt. Sie basieren größtenteils auf Dosiswerten, die von den Ärztlichen Stellen für die Jahre 2007 bis 2009 an das BfS übermittelt wurden, jedoch auch auf stichprobenartigen Messungen des BfS in Krankenhäusern und Arztpraxen, auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben, die vom BMU gefördert wurden, und auf Literaturangaben. Die Mehrzahl der Untersuchungsverfahren ist demnach mit einer relativ niedrigen Strahlenbelastung verbunden. Das sind im Wesentlichen die Untersuchungen, bei denen nur Röntgenaufnahmen angefertigt werden. Dabei wird ein kurzer „Röntgenblitz“ von einigen Millisekunden Dauer auf den zu untersuchenden Körperteil des Patienten gerichtet und die den Körper durchdringende Strahlung mit einem Film-Folien-System oder einem digitalen Speichermedium sichtbar gemacht.

Zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen oder zur genaueren Beurteilung von sich überlagernden Strukturen

Abbildung IV.1-4

Prozentualer Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der Gesamthäufigkeit und an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland für das Jahr 2009



ist bei einigen Untersuchungen zusätzlich eine Röntgendurchleuchtung notwendig. Dabei durchdringt Röntgenstrahlung den Körper des Patienten und erzeugt auf einem Leuchtschirm ein Bild, das mittels elektronischer Bildverstärkung auf einen Fernsehmonitor übertragen und dort betrachtet wird. Zu diesen Untersuchungsverfahren gehören die Arteriographie und die interventionelle Radiologie. Letztere ist ein Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße durchgeführt werden.

Die CT, bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper des Patienten rotiert, liefert überlagerungsfreie Querschnittsbilder. Diese mit einer relativ hohen Strahlenbelastung verbundene Methode hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die mit keinem anderen Röntgenverfahren erreicht wird. Hier ist auf Grund der relativ höheren Strahlenbelastung (vgl. Tabelle IV.1-1)eine besonders strenge Indikationsstellung, d.h. die Abwägung zwischen Nutzen und Risiko für den Patienten durch den anwendenden Arzt erforderlich.

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis wird das Produkt von Untersuchungshäufigkeit und Untersuchungsdosis für die verschiedenen Untersuchungsarten – wie Untersuchungen des Thorax, der Extremitäten, der Wirbelsäule etc. – ermittelt. Dabei wird über den betrachteten Zeitraum bis einschließlich 2006 für konventionelle Röntgenuntersuchungen jeweils eine konstante Einzeldosis pro Untersuchungsart angenommen. Ab 2007 fließen in die Abschätzung Dosiswerte ein, die für häufige und / oder dosisintensive Röntgenuntersuchungen von den Ärztlichen Stellen für den aktuellen Zeitraum regelmäßig zum Zweck der Aktualisierung der diagnostischen Referenzwerte an das BfS übermittelt werden.

Die mittlere effektive Dosis aus Röntgenuntersuchungen pro Einwohner in Deutschland beläuft sich für das Jahr 2009 auf ca. 1,7 mSv. Die im Vergleich zu den Vorjahren 2004 bis 2006 geringfügig niedrigeren Schätzwerte für die Jahre 2007 bis 2009 resultieren aus der Berücksichtigung der von den Ärztlichen Stellen gemeldeten Dosiswerte für den aktuellen Zeitraum. Über den Beobachtungszeitraum 1996 bis 2009 ist insgesamt ein ansteigender Trend für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner und Jahr zu verzeichnen (siehe Abbildung IV.1-3). Dieser Trend ist im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit bedingt. Demgegenüber nimmt die effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung bei den restlichen Untersuchungsverfahren über die Jahre 1996 bis 2009 deutlich ab (siehe Abbildung IV.1-3).

Die CT sowie die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich der interventionellen Maßnahmen) tragen nur etwa 10% zur Gesamthäufigkeit bei, ihr Anteil an der aus allen Röntgenuntersuchungen resultierenden kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2009 jedoch mehr als drei Viertel (siehe Abbildung IV.1-4).

Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening)

Brustkrebs ist die häufigste Krebserkrankung und die häufigste Krebstodesursache bei Frauen. Derzeit erkranken jährlich etwa 58000 Frauen neu an Brustkrebs[7], wobei das mittlere Erkrankungsalter bei ca. 64 Jahren liegt. Im Jahr

7 Krebs in Deutschland 2005-2006. Häufigkeiten und Trends. 7. Ausgabe. Robert Koch-Institut und die Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. (Hrsg.), Berlin 2010

2008 verstarben insgesamt etwa 17000 Frauen an den Folgen einer Brustkrebserkrankung. Erwartet wird, dass Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening) bei Frauen zwischen 50 und 69 Jahren den Erfolg einer Therapie und damit die Überlebenswahrscheinlichkeit der Betroffenen erhöhen können.

Daher hat sich der Deutsche Bundestag am 28.06.2002 für die Einführung eines Mammographie-Screenings auf der Grundlage der strengen europäischen Leitlinien ausgesprochen und die gemeinsame Selbstverwaltung der Ärzte und Krankenkassen gebeten, die hierzu erforderlichen Voraussetzungen – in Form von Richtlinien nach Maßgabe des Sozialrechts – zu schaffen. Zwischen 2004 und Anfang 2009 wurde das qualitätsgesicherte und bevölkerungsbezogene Mammographie-Screening-Programm für alle (symptomfreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren in Deutschland flächendeckend eingeführt.

Bei der Einführung eines Mammographie-Screening-Programms waren zusätzlich die rechtlichen Vorgaben der Röntgenverordnung, für die das BMU zuständig ist, zu beachten: Röntgenreihenuntersuchungen zur Brustkrebs-Früherkennung stellen nach der Röntgenverordnung eine Anwendung außerhalb der Heilkunde im engeren Sinne dar, da sie nicht eine Patientin mit einem abklärungsbedürftigen Befund betreffen. Solche Untersuchungen müssen nach § 25 Abs. 1 Satz 2 RöV gesondert zugelassen werden, um sicherzustellen, dass auch der Strahlenschutz in angemessener Weise berücksichtigt wird. Die besondere rechtliche Zulassung ersetzt die sonst bei Röntgenuntersuchungen erforderliche Rechtfertigung im Einzelfall, die voraussetzt, dass der gesundheitliche Nutzen der Untersuchung das damit verbundene Strahlenrisiko überwiegt (rechtfertigende Indikation). Zuständig für solche Zulassungen sind die obersten Landesgesundheitsbehörden, die diese auf der Grundlage der Röntgenverordnung aussprechen. Ohne diese Zulassung darf mit dem Screening im jeweiligen Bundesland nicht begonnen werden. Die erforderlichen organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen im Bereich des Sozialrechtes sind zum 1. Januar 2004 in Kraft getreten.

Anfangs wurde bei der Planung und Einführung davon ausgegangen, dass das Mammographie-Screening nur mit analogen, konventionellen Verfahren erfolgen sollte. Der schnelle Fortschritt konnte jedoch digitale Verfahren nicht mehr ausschließen, zumal die europäischen Standards der „European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services (EUREF)“ inzwischen auch digitale Verfahren zulassen.

Im Vorfeld hat das BfS zusammen mit der Strahlenschutzkommission die Stellungnahme „Digitale Mammographie in der kurativen Anwendung und im Screening“ erarbeitet, in der die wesentlichen Anforderungen formuliert wurden, die bei der Einführung der digitalen Mammographie im Screening zu erfüllen sind.

Analoge und digitale Röntgenverfahren unterscheiden sich grundsätzlich:

Analoge Verfahren sind besonders geeignet für die Darstellung kontrastreicher kleiner Strukturen. Digitale Verfahren verwenden keinen Röntgenfilm, die Daten werden mit einem Detektor aufgenommen, in einem Rechner bearbeitet und auf einem Monitor dargestellt. Durch Bildbearbeitung können auch sehr kontrastarme größere Strukturen sichtbar und beurteilbar gemacht werden. Die Darstellungen sind aber nur schwer vergleichbar: Digital und analog aufgenommene Bilder führen nicht selbstverständlich zu den gleichen Befunden. Der befundende Arzt muss deshalb intensiv geschult werden und über genügend Erfahrung verfügen, um vergleichbare Ergebnisse in der Befundung zu erhalten.

Parallel wurde vom Normenausschuss Radiologie im Deutschen Institut für Normung eine sogenannte Public Available Specification (PAS) für digitale Röntgeneinrichtungen entwickelt, um technische Anforderungen für die Abnahmeprüfung der Röntgeneinrichtungen festzulegen. Die für den Vollzug der Röntgenverordnung zuständigen obersten Länderbehörden haben beschlossen, diese Festlegungen dem Vollzug ab dem 1.1.2006 zu Grunde zu legen.

Nach der Vorlage der PAS und der SSK-Stellungnahme wurden die Mindestanforderungen an die apparative Ausstattung der Röntgeneinrichtungen im „Vertrag zur Änderung des Bundesmantelvertrags Ärzte/Ersatzkassen (EKV) über besondere Versorgungsaufträge im Rahmen des Programms zur Früherkennung von Brustkrebs durch Mammographie-Screening“ neu gefasst und damit auch digitale Verfahren zugelassen.

Das Programm erreichte in der Anlaufphase eine Teilnahmequote von etwas mehr als der Hälfte der eingeladenen Frauen. Angestrebt wird eine Beteiligungsrate von mindestens 70% (insgesamt ca. 10,4 Mio. Frauen; flächendeckende Einladungsquote bis 12/2010). Die Screening-Mammographie-Untersuchung wird alle 2 Jahre angeboten. Nehmen 70% der anspruchsberechtigten Frauen an der Screening-Maßnahme teil, so beläuft sich unter der Annahme einer effektiven Dosis von 0,5 mSv pro Screening-Untersuchung die daraus resultierende kollektive effektive Jahresdosis auf etwa 1800 Personen-Sv pro Jahr. Dies entspricht etwa 1,5% der kollektiven effektiven Dosis, die sich aus allen Röntgenuntersuchungen, die in Deutschland jährlich durchgeführt werden, ergibt. Wie bereits erwähnt, spielen Screening-Mammographien bei der in Abbildung IV.1-4 dargestellten Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen zunehmend eine Rolle. Dies schlägt sich jedoch - auf Grund der vergleichsweise niedrigen Dosis pro Untersuchung - in den Abbildungen zur Dosis (IV.1-3 und IV.1-4 rechts) kaum nieder. In den in Abbildung IV.1-4 gezeigten Anteilen, die aus Mammographien stammen, wurden zu etwa 45% Mammographien berücksichtigt, die als „kurative Mammographien“ über die Kassen abgerechnet wurden, also als Mammographien, für die zur Abklärung eines Symptoms in der Brust eine Indikation für die Untersuchung bestand. Es ist jedoch davon auszugehen, dass es sich bei einem größeren Prozentsatz dieser „kurativen Mammographien“ um Früherkennungs-Mammographien handelt, die außerhalb

des Mammographie-Screening-Programms und damit ohne die hier gültige Qualitätssicherung durchgeführt wurden („graues Screening“). Entgegen der Erwartung hat die Anzahl der als „kurative Mammographie“ abgerechneten Untersuchungen nach Einführung des Mammographie-Screening-Programms verhältnismäßig wenig abgenommen.

Da die Screening-Mammographie-Untersuchung für die Frauen mit einer Strahlenbelastung verbunden ist, haben sich BMU und BfS in zahlreichen Gesprächsrunden mit den Ländern, der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) und den Spitzenverbänden der Krankenkassen bzw. dem GKV-Spitzenverband für die Einhaltung strenger Qualitätsanforderungen eingesetzt.

Übergeordnetes Ziel des Mammographie-Screening-Programms ist die nachhaltige Verringerung der Brustkrebs-Mortalität. Im Jahr 2010 wurden vom BMU in Kooperation mit dem BfS erste konkrete Schritte zur Evaluation der Brustkrebsmortalität in die Wege geleitet. An der Finanzierung dieses komplexen Projektes beteiligen sich das BMU, das BMG sowie die Träger des Mammographie-Screening-Programms. Die Geldgeber sowie das BfS, das RKI, ein Vertreter der obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) und die Patientenvertretung bilden ein so genanntes Steuerungsgremium. Die Aufgaben des Steuerungsgremiums sind u.a. die Schaffung der organisatorischen und finanziellen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Abwicklung der Vorhaben zur Mortalitätsevaluation sowie die Festlegung der Konzeption und des Inhalts der Evaluation des deutschen Mammographie-Screening-Programms. Das Steuerungsgremium wird hinsichtlich der Konzeption und Gestaltung der Inhalte des Forschungsvorhabens sowie der Projektbegleitung von einem so genannten Wissenschaftlichen Beirat unterstützt, dessen Vorsitz das BfS innehat. Die Mortalitätsevaluation soll im Rahmen von UFOPLAN-Forschungsvorhaben erfolgen. Hierbei ist der geplante Zeitraum zehn Jahre, wobei die ersten zwei Jahre für eine Machbarkeitsstudie verwendet werden sollen.

2. Nuklearmedizinische Diagnostik

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden den Patienten offene radioaktive Arzneimittel verabreicht, die sich je nach ihren chemischen Eigenschaften im Stoffwechsel des Menschen unterschiedlich verhalten und sich in unterschiedlicher Konzentration in den Organen oder Geweben des Menschen vorübergehend anreichern. Sie sind auf Grund ihrer Radioaktivität mit geeigneten Messverfahren, z.B. einer Gammakamera, von außen in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung im Patienten nachweisbar und darstellbar. Die diagnostische Anwendung von radioaktiven Arzneimitteln ermöglicht die Untersuchung nahezu sämtlicher Organsysteme des Menschen. Sie liefert Aussagen zur Funktion interessierender Organsysteme sowohl hinsichtlich allgemeiner Stoffwechselstörungen als auch örtlich umschriebener Krankheitsherde in einzelnen Organen und ist daher eine wichtige Ergänzung zur vorwiegend morphologisch ausgerichteten, bildgebenden Diagnostik. Auf Grund seiner günstigen physikalischen Eigenschaften und der guten Verfügbarkeit hat sich das Nuklid Technetium-99m in der konventionellen In-vivo-Diagnostik als optimal herausgestellt und durchgesetzt.

Mit der Einführung der Positronenemissionstomographie (PET) ist es in Verbindung mit neu entwickelten radioaktiven Arzneimitteln, wie z.B. Fluor-18-Desoxyglukose (FDG), möglich geworden, zell- und molekularbiologische Teilfunktionen des Körpers in hoher räumlicher Auflösung bildgebend in-vivo darzustellen. Die PET hat – insbesondere auch in Kombination mit der Computertomographie (PET/CT) – die Leistungsfähigkeit der Diagnostik in der Neurologie, Kardiologie und vor allem in der Onkologie deutlich verbessert.

Die Ergebnisse der aktuellen Auswertung der Daten zur Häufigkeit und Dosis von nuklearmedizinischen Untersuchungen beziehen sich auf den Zeitraum 2005 bis 2009. In die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis und deren Bewertung fließen die Resultate eines kürzlich abgeschlossenen UFOPLAN-Vorhabens ein („Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren“) sowie aktuelle Literatur[8]. Pro Jahr wurden 2005-2009 in Deutschland im Mittel ca. 3,2 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 38,6 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Für den betrachteten Zeitraum besteht ein leicht abnehmender Trend für die Häufigkeit von nuklearmedizinischen Untersuchungen. Am häufigsten wurden Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (Abbildung IV.2-1). Bei dieser Abbildung ist zu beachten, dass die szintigraphischen Untersuchungen des Herzens in Ruhe und unter körperlicher Belastung einzeln gezählt wurden, auch wenn diese meistens im Rahmen einer Untersuchung hintereinander (während eines Tages oder über zwei Tage) stattfinden.

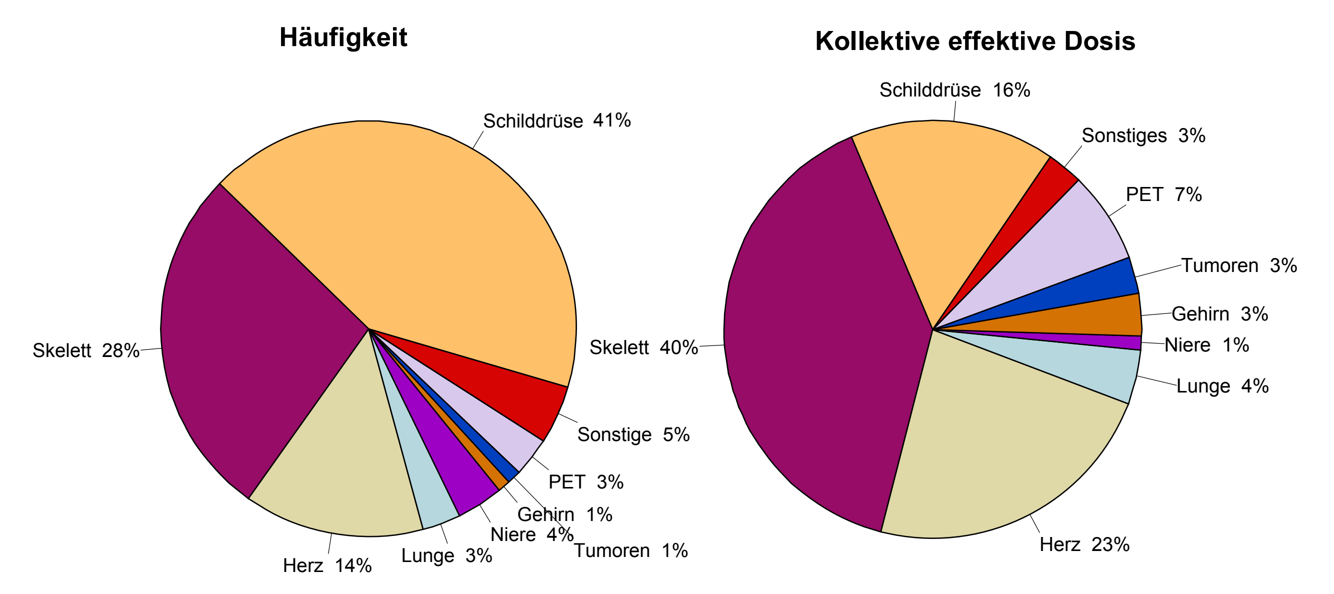
Es wurde eine über den Zeitraum 2005 bis 2009 gemittelte kollektive effektive Dosis von ca. 7600 Personen-Sv pro Jahr ermittelt, was einer effektiven Dosis von etwa 0,1 mSv pro Einwohner und Jahr entspricht. 80% der kollektiven effektiven Dosis werden durch die Skelett-, die Myokard-(Herz-) und die Schilddrüsenszintigraphie verursacht (Abbildung IV.2-1).

Die mittleren effektiven Dosiswerte nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei Entzündungs- und Gehirnszintigraphien (jeweils 7,7 mSv pro Untersuchung) am höchsten. Fasst man die Dosis durch Herzszintigraphien in Ruhe und unter Belastung zusammen, so erhält man ebenfalls eine vergleichsweise hohe Dosis von 8 mSv pro Untersuchung. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist eine recht niedrige effektive Dosis von durchschnittlich 0,9 mSv pro Untersuchung auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten

[8] Kotzerke J, Oehme L, Lindner O, Hellwig D; Arbeitsausschuss PET der DGN: Positron Emissions Tomographie 2008 in Deutschland – Ergebnisse einer Umfrage und aktuelle Sachlage. Nuklearmedizin 49: 58-64, 2010; Hellwig D, Grgic A, Kotzerke J, Kirsch C-M: Nuklearmedizin in Deutschland – Kennzahlen aus offiziellen Statistiken. Nuklearmedizin 50: 53-67, 2011

Abbildung IV.2-1

Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland im Jahr 2009



Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (durchschnittlich 0,7 mSv pro Untersuchung). Insgesamt betrug die mittlere effektive Dosis pro Untersuchung 2,4 mSv.

Verglichen mit der Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik (1,7 mSv pro Person im Jahr 2009) ist die Exposition durch die nuklearmedizinische Diagnostik relativ gering. Unabhängig davon sind Maßnahmen zur Dosisreduktion möglich und notwendig, wie die Einführung diagnostischer Referenzwerte und die Verwendung neuer Radiopharmaka. So führt z.B. der Ersatz von Tl-201-Chlorid durch Tc-99m-MIBI zur Verringerung der Strahlenexposition bei der Myokardszintigraphie.

3. Therapie mit ionisierender Strahlung

Die Zahl der jährlich auftretenden Neuerkrankungen an Krebs in Deutschland wird für das Jahr 2010 auf ca. 246 000 Erkrankungen bei Männern und auf ca. 204 000 bei Frauen geschätzt[9]. Das mittlere Erkrankungsalter liegt für Männer und Frauen bei etwa 69 Jahren. Die Therapie erfolgt üblicherweise als Kombination von Chirurgie, Strahlentherapie und Chemotherapie, wobei die Strahlentherapie in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung erlangt hat. Ziel in der Strahlentherapie ist es, das Tumorgewebe unter größtmöglicher Schonung des umgebenden gesunden Gewebes zu zerstören. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit von Strahlentherapeuten und Medizinphysik-Experten. Ständige Qualitätssicherung und -kontrolle sind in der Strahlentherapie von zentraler Bedeutung.

[9] Krebs in Deutschland 2005-2006. Häufigkeiten und Trends. 7. Ausgabe. Robert Koch-Institut und die Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. (Hrsg.), Berlin 2010

Die Fortschritte in der Strahlentherapie basieren auf Entwicklungen in der Diagnostik, der medizinischen Strahlenphysik, der Strahlenbiologie und der Informatik sowie deren interdisziplinärer Zusammenarbeit auf wissenschaftlicher und klinischer Ebene.

Die am häufigsten in der Strahlentherapie eingesetzte Anlage ist der Linearbeschleuniger, mit dem hochenergetische Photonen oder schnelle Elektronen erzeugt werden. Die Bestrahlungsplanung erfolgt heutzutage meist mithilfe der Computertomographie, mittels derer ein dreidimensionales Modell der Bestrahlungsregion erstellt wird.

Röntgenstrahlen werden beim Eindringen in den Körper stärker abgeschwächt als z.B. die Photonenstrahlung eines in der Strahlentherapie heute üblichen Linearbeschleunigers, so dass mit Röntgenstrahlen eine ausreichende Dosis im tiefer liegenden Tumorgewebe nicht erreicht werden kann. Die Therapie mit Röntgenstrahlen wird daher fast nur noch zur Behandlung von Hauttumoren sowie von entzündlichen oder degenerativen Erkrankungen an Gelenken und am Bandapparat eingesetzt.

Bei der so genannten Brachytherapie erfolgt die Bestrahlung mithilfe einer Strahlenquelle, die innerhalb oder in unmittelbarer Nähe des zu bestrahlenden Organs oder Gewebes im Körper des Patienten platziert wird. Ein typisches Anwendungsgebiet der Brachytherapie ist z.B. die Behandlung von Prostatakarzinomen.

Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ [10] wurden im Jahr 2010 in den sechs Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Nieder-

[10] H.-J. Brodersen, Strahlentherapie in Norddeutschland 2010/11 Radioonkologie in den Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein, 17. Auflage, 21. März 2011, www.strahlentherapie-nord.de

sachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein (17,2 Mio. Einwohner, ca. 21% der bundesdeutschen Bevölkerung) etwa 62700 Patienten einer Strahlentherapie unterzogen. Etwa 15% dieser Patienten wurden wegen einer gutartigen Erkrankung strahlentherapiert. Werden diese Zahlen auf Deutschland hochgerechnet, so erhielten im Jahr 2010 etwa 300000 Patienten eine Strahlentherapie, davon ca. 255000 wegen einer bösartigen Erkrankung. Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ nimmt die Anzahl der Strahlentherapien stetig zu, in den zehn Jahren zwischen 2001 und 2010 war ein Anstieg von etwa 40% zu verzeichnen.

4. Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen

In der Radionuklidtherapie wird die Möglichkeit genutzt, durch die Wahl geeigneter radioaktiver Arzneimittel direkt in bzw. an der Tumorzelle zu bestrahlen. Das bekannteste Beispiel ist das Radionuklid Jod-131, das sich größtenteils im Schilddrüsengewebe anreichert und dort mit seiner Strahlung Tumorzellen vernichtet. Im Jahr 2008 wurden in Deutschland etwa 45000 derartige Behandlungen durchgeführt. Weitere wichtige Anwendungen sind die Radiosynoviorthese, d.h. die Behandlung spezieller Gelenkserkrankungen, sowie die palliative (schmerzlindernde) Behandlung von Knochenmetastasen. Zunehmendes Interesse gewinnt die Radioimmuntherapie. Dabei werden spezifisch gegen Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert, um diese Tumorzellen gezielt durch Strahlung zu zerstören.

Wesentlich für den Langzeiterfolg einer Strahlentherapie ist die sorgfältige Durchführung und Koordinierung der Nachsorge. Da in der Strahlentherapie hohe Dosen notwendig sind, um die gewünschte deterministische Wirkung zu erzielen, ist das in der radiologischen/nuklearmedizinischen Diagnostik angewendete Konzept der effektiven Dosis nicht geeignet, um eine therapeutische Strahlenexposition zu bewerten.

5. Bewertung der medizinischen Strahlenexposition

Im internationalen Vergleich liegt Deutschland nach den vorliegenden Daten bezüglich der jährlichen Anzahl der Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr im oberen Bereich. Bei der vergleichenden Bewertung ist jedoch Vorsicht geboten, da auf Grund der unterschiedlichen Gesundheitssysteme die Auswertungsschemata sehr verschieden und zum Teil auch nicht hinreichend transparent sind.

Bereits im Jahr 2000 lag in den USA und in Japan allein die aus CT-Untersuchungen resultierende effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in der Größenordnung bzw. höher als die Gesamtdosis für alle in Deutschland durchgeführten diagnostischen Röntgenleistungen. Im Jahr 2006 betrug die effektive Dosis pro Kopf aus Röntgen- sowie nuklearmedizinischer Diagnostik in den USA 3 mSv, wobei die CT bzw. nuklearmedizinische Untersuchungen etwa die Hälfte bzw. ein Viertel beitrugen[11].

Um eine solide Grundlage für einen internationalen Vergleich – zumindest auf EU-Ebene – zu erhalten, wurde Ende des Jahres 2004 die mit EU-Mitteln geförderte Arbeitsgruppe DOSE DATAMED gebildet, wobei Deutschland durch das BfS vertreten wurde. Ziel des EU-Vorhabens war es, die Methoden zur Datenerfassung und -auswertung in den zehn teilnehmenden Ländern zu analysieren sowie eine einheitliche Methode für die Bewertung im internationalen Vergleich zu entwickeln. In allen zehn DOSE-DATAMED-Ländern tragen Computertomographien, Angiographien und Interventionen den größten Teil zur kollektiven effektiven Dosis bei. Für alle Röntgenuntersuchungen zusammen genommen (ohne Zahnmedizin) unterscheiden sich die Länder bezüglich der Häufigkeit maximal um den Faktor 2,5 und bezüglich der kollektiven effektiven Dosis maximal um den Faktor 4,5 mit den höchsten Schätzwerten für Belgien, Deutschland und Luxemburg und den niedrigsten für Dänemark, die Niederlande und das Vereinigte Königreich. Die zum Teil beträchtlichen Unterschiede bei der Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen und der zugehörigen kollektiven effektiven Dosis, die in den zehn Ländern beobachtet wurden, wurden von der DOSE-DATAMED-Gruppe als real eingeschätzt. Die Unterschiede sind sehr viel größer als die statistischen Unsicherheiten, die unvermeidbar mit jeder Datenerhebung und -analyse einhergehen. Die Unterschiede können zum großen Teil auf die verschiedenartigen Gesundheitssysteme der betrachteten Staaten zurückgeführt werden. Der Bericht über die vergleichende Bewertung sowie Empfehlungen zur Datenerfassung und -auswertung wurden im Jahr 2008 von der Europäischen Kommission gebilligt. Der Bericht und die Empfehlungen wurden auf der Internet-Seite der Europäischen Kommission veröffentlicht[12]. Im Jahr 2010 wurde ein EU-Folge-Projekt zu DOSE DATAMED – DOSE DATAMED 2 – initiiert, das zum Ziel hat, die Datenbasis um weitere europäische Länder zu erweitern sowie den alten Datenbestand zu aktualisieren. Die Ergebnisse werden für das Jahr 2012 erwartet und werden einen umfassenden Vergleich auf europäischer Ebene ermöglichen.

Eine Abschätzung des mit der medizinischen Strahlenexposition verbundenen Risikos macht nur dann Sinn, wenn sich diese individuell auf die betroffene Person, also den Patienten oder die Patientin, bezieht. Dabei darf auch der reale diagnostische oder therapeutische Nutzen für die Patienten nicht unberücksichtigt bleiben. Im Vergleich zur Normalbevölkerung ist die Lebenserwartung von schwer erkrankten Patienten oft deutlich verkürzt. Gerade diese Patienten werden aber auf Grund ihrer Erkrankung häufig mehrfach radiologisch untersucht. In die strahlenhygienische Bewertung muss somit insbesondere auch die Indikationsstellung einbezogen werden. Eine Machbarkeits-

[11] National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States, NCRP Report No. 160, 2009

[12] European Commission, Radiation Protection No. 154, European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures. Final Report with two Annexes, Directorate-General for Energy and Transport (TREN-H4) 2008 ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/154_en.zip

studie zur Konkretisierung der Datenbasis in diesem Bereich wurde vom BfS initiiert: Von Patienten, die zwischen 2000 und 2005 am Klinikum Großhadern (München) mindestens eine Röntgenuntersuchung erhalten haben, wurden für die zehn häufigsten Krebserkrankungen alle relevanten Patienten- und Untersuchungs-Daten gesammelt. Nach den Ergebnissen dieser Studie entfallen - hochgerechnet auf Deutschland - mindestens 10% der kollektiven effektiven Dosis aller Röntgenuntersuchungen auf Krebspatienten. Da für die Patienten dieser Studie keine Röntgenuntersuchungen anderer Einrichtungen berücksichtigt werden konnten, beträgt der tatsächliche Anteil vermutlich eher 15 bis 20%. Weitere Ergebnisse der Studie sind, dass der Anteil der CT an allen Röntgenuntersuchungen bei Krebspatienten weit höher ist als bei der durchschnittlichen Bevölkerung (über 80% im Jahr 2005) und dass die mittlere kumulative Dosis durch Röntgenuntersuchungen bei Krebserkrankungen mit schlechter Prognose (z.B. Pankreaskarzinom) deutlich höher ist als bei Krebserkrankungen mit vergleichsweise guter Prognose (z.B. Brustkrebs).

Weiterhin ist bei einer strahlenhygienischen Bewertung der medizinischen Strahlenexposition zu berücksichtigen, dass es sich bei Patienten häufig um ältere Menschen handelt, für die die Wahrscheinlichkeit einer strahlenbedingten Krebserkrankung deutlich geringer ist als für jüngere Personen. So wurden 2002 etwa 60% der Röntgenaufnahmen im Krankenhausbereich für Patienten veranlasst, die 60 Jahre oder älter sind.

V. Nichtionisierende Strahlung

1. Elektromagnetische Felder

Die biologischen Wirkungen der elektromagnetischen Felder auf die menschliche Gesundheit werden seit etwa 50 Jahren intensiv untersucht. Die Erkenntnisse aus dieser Forschung, belegt in mehr als 20000 wissenschaftlichen Veröffentlichungen, bilden die Grundlagen der bestehenden Grenzwerte. Neben den wissenschaftlich gut dokumentierten gesundheitlichen Schädigungen oberhalb der Grenzwerte existieren auch einzelne Hinweise zu möglichen schädlichen biologischen Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der Grenzwerte. Für diese konnte trotz zahlreicher internationaler Forschungsprojekte auch 2010 kein wissenschaftlicher Beleg erbracht werden. Ebenso ergaben sich keine Hinweise auf Mechanismen, die solchen biologischen Wirkungen zu Grunde liegen könnten. Die gesundheitliche Relevanz der vor allem in Zellexperimenten beschriebenen biologischen Wirkungen ist weiterhin unklar. Andererseits klagen jährlichen repräsentativen Umfragen zu Folge rund 6% der Bevölkerung über gesundheitliche Beeinträchtigungen durch elektromagnetische Felder mit teilweise dramatischen Krankheitsverläufen.

Das Bundesamt für Strahlenschutz sowie nationale und internationale Expertengremien verfolgen und bewerten nach wissenschaftlichen Kriterien kontinuierlich die einschlägigen Veröffentlichungen in anerkannten wissenschaftlichen Fachzeitschriften. Bei der Bewertung neuer Erkenntnisse wird jeweils die Gesamtheit der Forschungsergebnisse betrachtet. Dies ist die Grundlage für eine umfassende Risikobewertung und für die Erarbeitung von Strahlenschutzmaßnahmen.

Um Lücken im wissenschaftlichen Kenntnisstand zu schließen und Unsicherheiten bei der Bewertung einzelner Befunde zu verringern, koordiniert das BfS im Auftrag des BMU Forschungsvorhaben im Rahmen des Umwelt-Forschungsplans (UFOPLAN). Ausführliche Informationen zu den laufenden und abgeschlossenen Forschungsvorhaben finden sich in der Schriftenreihe „Strahlenschutzforschung Programmreport“ unter: doris.bfs.de.

1.1 Forschung

Elektromagnetische Felder allgemein

Mit dem zunehmenden Technisierungsgrad der Umwelt steigt auch die Zahl der künstlichen Quellen, die zu einer Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber nichtionisierender Strahlung beitragen können. Unter dem Begriff „Nichtionisierende Strahlung“ werden elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder in einem Frequenzbereich von 0 Hertz (Hz) bis 300 Gigahertz (GHz) sowie optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 Nanometer bis 1 Millimeter zusammengefasst. Das gleichzeitige Einwirken elektromagnetischer Felder von mehreren Quellen sowie neue Technikentwicklungen stellen aktuelle Herausforderungen für den Strahlenschutz dar. Es sind die künstlichen Quellen nichtionisierender Strahlung systematisch zu identifizieren, die zur Exposition von Personen der allgemeinen Bevölkerung einen Beitrag liefern können, welcher in Bezug auf die einschlägigen, wissenschaftlich anerkannten, internationalen Grenzwertempfehlungen relevant ist.

Statische Magnetfelder

Personen, die als medizinisches Personal direkt in der Nähe von Magnetresonanztomographen (MRT) arbeiten, sowie Patienten sind starken statischen Magnetfeldern mit magnetischen Flussdichten von 3 Tesla und mehr ausgesetzt. Ab einer Schwelle von etwa 2-4 Tesla wird über vorübergehende Effekte berichtet, die zu einer Gefährdung an bestimmten Arbeitsplätzen oder bei bestimmten Tätigkeiten führen können. Betroffen sind im Wesentlichen kognitive Fähigkeiten. Dieses Thema ist von hoher Priorität, da zunehmend z.B. Arbeitnehmer solchen und weitaus höheren Feldern ausgesetzt werden. Die Feldstärkewerte neuer Technologien (im medizinischen Bereich) erreichen bereits jetzt Werte im Bereich von 10 Tesla. In naher Zukunft ist mit der Einführung von so genannten 7-Tesla-Geräten in die klinische Routine zu rechnen. Verlässliche Daten über das Ausmaß der gesundheitlichen Risiken bei diesen magnetischen Flussdichten liegen nicht vor. Eine weitere Aufklärung gesundheitlicher Risiken starker statischer Magnetfelder ist darum notwendig. Die 2010 bearbeiteten Forschungsvorhaben sind in Tabelle VI.1-1 aufgeführt.

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder

Auf Grund der konsistenten Ergebnisse epidemiologischer Studien wird eine Krebs begünstigende Wirkung

Tabelle VI.1-1

Forschungsvorhaben zum Thema statische Magnetfelder

Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT auf die Endpunkte Fortpflanzung und Entwicklung im Tiermodell www.bfs.de/de/elektro/nff/papiere/MRTLiteraturstudie.pdf
Auswirkungen wiederholter Exposition mit starken statischen Magnetfeldern des MRT während der Embryonalentwicklung auf kognitives und emotionales Verhalten bei Mäusen
Auswirkungen der Exposition mit starken statischen Magnetfeldern auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Probanden www.bfs.de/elektro/nff/MRT_Kognition_Lit.pdf

Tabelle VI.1-2

Forschungsvorhaben zum Thema niederfrequente elektromagnetische Felder

Einfluss niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf das sich entwickelnde blutbildende System, das Immunsystem und das zentrale Nervensystem (ZNS) in vivo
Auswirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf die Entstehung und den Verlauf von neurodegenerativen Erkrankungen im experimentellen Modell www.bfs.de/de/elektro/nff/weitere_informationen/Neurodegenerative_Erkrankungen
Untersuchungen zu den Mechanismen für die biologische Wirkung niederfrequenter Magnetfelder auf das genetische Material und die Signaltransduktion

niederfrequenter Magnetfelder im Fall der im frühen Kindesalter auftretenden Leukämie diskutiert. Die Studien zeigen einen statistisch signifikanten Zusammenhang bei erhöhten häuslichen Magnetfeldexpositionen von > 0,4 Mikrotesla (µT). Deshalb haben die WHO und die IARC bereits 2002 niederfrequente Magnetfelder als möglicherweise krebserregend (Klasse 2B) eingestuft. In derselben Kategorie sind u.a. auch Kaffee, Styrol, Benzinmotorabgase und Schweißgase.

Diese Ergebnisse zeigen sich auch in neueren epidemiologischen Studien, konnten jedoch durch tierexperimentelle Arbeiten und Untersuchungen an Zelllinien bisher nicht bestätigt werden.

Da man bei der Entstehung kindlicher Leukämien von einem multifaktoriellen Geschehen ausgeht, bemüht sich das BfS durch Forschungsprojekte und Expertendiskurs zu klären, ob und wenn ja welchen Beitrag ionisierende und nichtionisierende Strahlung an den steigenden Inzidenzraten kindlicher Leukämie hat. Nach einem internationalen Workshop zu allen bekannten genetischen und umweltbedingten Risikofaktoren im Mai 2008 folgte im Juli 2009 ein weiteres Expertengespräch. Es zeigte sich, dass die Komplexität dieser Fragestellung eine mittel- bis langfristig angelegte, interdisziplinäre Forschungsplanung erfordert, die die wissenschaftliche Basis für Präventionsmaßnahmen liefern kann. Eine entsprechend umfassende Forschungsagenda wurde von den eingeladenen Experten erarbeitet und wurde inzwischen veröffentlicht. Pilot- und Machbarkeitsstudien werden vom BfS initiiert. Für weiterführende Studien gemäß Forschungsagenda ist die Beteiligung anderer nationaler wie internationaler Forschungsfördereinrichtungen unerlässlich. Die 2009 vom BfS initiierten und auch weiterhin koordinierten Forschungsvorhaben sowie bereits erzielte Ergebnisse sind in Tabelle VI.1-2 aufgeführt.

Hochfrequente elektromagnetische Felder

Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Mobilfunk oder Fernsehen verwendet werden. Der erste Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist die Gewebeerwärmung, da in wissenschaftlichen Untersuchungen erst bei einer Erhöhung der Körpertemperatur gesundheitlich bedeutende Beeinträchtigungen beobachtet werden.

Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder, vor allem des Mobilfunks, waren auch im Jahr 2010 Gegenstand kontroverser öffentlicher und wissenschaftlicher Diskussionen. Dabei geht es um mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen infolge so genannter nicht-thermischer Wirkungen. Nicht-thermische Effekte sind biologische Effekte, die nicht mit einer Erwärmung erklärt werden können. Nicht-thermische Wirkungen wie zum Beispiel Kraftwirkungen auf einzelne Zellen sind zum Teil gut untersucht. Sie treten im Mobilfunkfrequenzbereich aber erst bei wesentlich höheren Intensitäten auf als die thermischen Wirkungen. Gesundheitliche Beeinträchtigungen infolge nicht-thermischer Wirkungen im Bereich niedriger Intensitäten hochfrequenter Felder wurden in jahrzehntelanger Forschung wissenschaftlich nicht nachgewiesen.

Auch das in den Jahren 2002 bis 2008 durchgeführte Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (www.emf-forschungsprogramm.de/) ergab in Übereinstimmung mit weiteren nationalen und internationalen Forschungsergebnissen, dass sich die früheren Hinweise auf gesundheitsrelevante Wirkungen hochfrequenter Felder in unabhängigen Wiederholungsstudien nicht bestätigen lassen. Dies betrifft z.B. auch die vermuteten Einflüsse auf den Schlaf, die Hirnleistung, die Blut-Hirn-Schranke, Immunparameter, die Fortpflanzung, die Entwicklung oder die Verarbeitung von visuellen oder akustischen Reizen oder die Verursachung von Krebserkrankungen, Tinnitus oder Kopfschmerzen.

Es wurden auch keine neuen Hinweise für mögliche gesundheitsrelevante Wirkungen gefunden, insbesondere auch keine nicht-thermischen Wirkmechanismen.

Trotz dieser wissenschaftlich fundierten Erkenntnis bezeichnen sich etwa 1,5% der Bevölkerung als elektrosensibel und damit als besonders empfindlich gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen und

hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (Ergebnis von jährlichen repräsentativen Umfragen des BfS www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_abges/risiko_021.html).
Sie führen eine Vielzahl gesundheitlicher Beschwerden darauf zurück. Bei Betrachtung aller nationalen und internationalen Studien zum Thema „Elektrosensibilität" ergibt sich, dass kein kausaler Zusammenhang zwischen den Beschwerden der elektrosensiblen Personen und niederfrequenten wie hochfrequenten elektromagnetischen Feldern nachgewiesen werden kann. Diese Einschätzung wird auch von der WHO geteilt[13].

Die Mobilfunkbetreiber haben sich im Dezember 2001 gegenüber der Bundesregierung dazu verpflichtet, den Verbraucher- und Gesundheitsschutz im Bereich des Mobilfunks zu verbessern. Die hierzu abgegebene Selbstverpflichtung hat vier Schwerpunkte:

1. Die Verbesserung von Kommunikation und Partizipation bei der Standortfindung
2. Verbraucherschutz und Verbraucherinformation zu Handys
3. Die finanzielle Unterstützung der Erforschung der Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder
4. Die Beteiligung am Aufbau einer EMF-Datenbank (EMF = elektromagnetische Felder) bei der Bundesnetzagentur (BNetzA), eines Netzes von EMF-Monitoren und an EMF-Messprogrammen.

Unabhängig erstellte Gutachten dienten der Bundesregierung als Grundlage für die jährlich mit den Mobilfunkbetreibern geführten Überprüfungsgespräche. Durch die Selbstverpflichtung konnten Verbesserungen in allen Bereichen der Selbstverpflichtung erwirkt werden. Sie hat sich in der Auseinandersetzung um den Ausbau des Mobilfunks in Deutschland als sinnvolles Politikinstrument erwiesen.

Die wesentlichen Ziele - die Klärung offener Forschungsfragen, die Verbesserung der Transparenz beim Netzausbau und bei den tatsächlich gemessenen Immissionen - wurden erreicht. Insbesondere bei der Lösung von Standortkonflikten, in einzelnen Bereichen der Forschung, bei der Information der Bürgerinnen und Bürger sowie bei der Verbraucherinformation besteht trotz erreichter Verbesserungen nach wie vor weiterer Handlungsbedarf. Im Juni 2008 haben die Mobilfunkbetreiber zugesagt, die Selbstverpflichtung fortzuführen und auch in Zukunft die etablierten Abläufe und Maßnahmen uneingeschränkt weiterzuführen. Die Bundesregierung überprüft dies in jährlich stattfindenden Überprüfungsgesprächen.

Wissenschaftliche Unsicherheiten bestehen dagegen bezüglich der Frage zu möglichen Langzeitrisiken für Handynutzungszeiten von mehr als 10 Jahren und ob Kinder stärker durch hochfrequente elektromagnetische Felder exponiert sind oder empfindlicher reagieren als Erwachsene.

[13] Elektromagnetische Felder und öffentliche Gesundheit – Elektromagnetische Hypersensibilität (Elektrosensibilität). Fact sheet N° 296 vom Dezember 2005, www.who.int/entity/peh-emf/publications/facts/ehs_fs_296_german.pdf

Tabelle VI.1-3

Forschungsvorhaben zum Thema hochfrequente elektromagnetische Felder

Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch den Einsatz von Radio-Frequency-Identification (RFID) -Technologien entstehen
Einfluss hochfrequenter Felder auf menschliche Fibroblasten (Gentoxizität)
Gentoxische Effekte von Terahertz-Strahlung in vitro
Altersabhängige Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Entwicklungs- und Differenzierungsprozesse des Zentralnervensystems in juvenilen Labornagern
Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Bestimmung der Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung mit Frequenzen im Terahertzbereich

Der derzeit im Aufbau befindliche Funkdienst für die Sicherheitsbehörden basiert auf dem TETRA (Terrestrial Trunked Radio) -Standard. Die genutzten Sendefrequenzen liegen bei etwa 400 MHz. Das System wird parallel zu den bestehenden öffentlichen Mobilfunknetzen GSM900, GSM1800 und UMTS aufgebaut. Wie auch bei den öffentlichen digitalen Netzen handelt es sich bei TETRA um ein zellulares Mobilfunknetz, bestehend aus vielen kleinen Versorgungszellen mit jeweils einer Basisstation, die insgesamt das Bundesgebiet abdecken sollen.

Um beim Ausbau des BOS-Netzes die grundlegenden Anforderungen des Strahlenschutzes sowie der Information und Risikokommunikation angemessen zu berücksichtigen, hat das BfS mit der BDBOS eine Vereinbarung geschlossen. Darin ist festgelegt, dass die BDBOS zur Klärung offener wissenschaftlicher Fragen die Durchführung von Forschungsvorhaben zur Risikobewertung von Feldern des TETRA-Standards finanziert. Die fachliche und administrative Bearbeitung und die Vergabe der Forschungsvorhaben erfolgt durch das BfS in Anlehnung an die Verfahren, die sich in Umsetzung der Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber bewährt haben.

Die Nutzung neuer technologischer Anwendungen verschiedener Frequenzbereiche hochfrequenter elektromagnetischer Felder erfordert weitere Forschung zur Verbesserung der wissenschaftlichen Datenlage. Die hierfür 2009 und 2010 vom BfS initiierten und koordinierten Forschungsvorhaben sind in Tabelle VI.1-3 aufgeführt.

Risikokommunikation

Speziell für den Bereich „Mobilfunk" wurden bereits im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms Forschungsvorhaben durchgeführt, mit dem Ziel, die Wahrnehmung des Mobilfunks in der Gesellschaft und die Risikowahrnehmung an sich zu erfassen sowie Möglichkeiten zur Verbesserung der Risikokommunikation zu diesem Thema aufzuzeigen. 2010 wurden die vom-vom BfS 2009 initiierten Forschungsvorhaben in dieser Richtung, generell aber auch bezüglich Risikokommunikation zum Thema „Elektromagnetische Felder" koordiniert (Tabelle VI.1-4).

Tabelle VI.1-4
Forschungsvorhaben zum Thema Risikokommunikation

Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks 2009
Laiengerechte Kommunikation wissenschaftlicher Unsicherheiten im Bereich EMF
Weiterentwicklung der EMF-Literaturdatenbank

Forschung zur Umsetzung emissionsmindernder Technologien des BMBF [14]

Das BMBF hat in den vergangenen Jahren eine Reihe von Forschungsvorhaben im Rahmen der Leitinnovation Mobiles Internet gefördert, mit denen die Umsetzung der Empfehlungen des Vorhabens „miniwatt“ erforscht worden ist. An diesen erfolgreich abgeschlossenen Forschungsvorhaben wirkten u.a. die weltweit führenden Mobilfunkausrüster mit. Damit war gewährleistet, dass in zukünftigen Generationen der Mobilfunktechnik die Vorschläge zur Emissionsreduzierung der Systeme marktfähig sein werden.

In den BMBF-Forschungsprojekten EASY-C (2007-2010) und MIMOWA (2007-2009) konnte aufgezeigt werden, die spektrale Effizienz drahtloser Kommunikationssysteme mittels Mehrantennensystemen und Funkzellen-Kooperationstechniken weiter zu steigern. Unmittelbare Relevanz für die Minimierung von Strahlungsemission haben innerhalb dieser beiden Projekte v.a. drei mit insgesamt rund 2 Mio. Euro geförderte Teilvorhaben. Diese beschäftigten sich mit der Implementierung von Mehrantennensystemen in Endgeräten und Basisstationen sowie mit Aspekten des Beamformings, d.h. einer effizienten Strahlungsbündelung ähnlich wie im Richtfunk. Im Rahmen des BMU-Forschungsprojektes „KMU-innovativ“ wird seit 2009 in mehreren Fördervorhaben erforscht, wie sich die erforderlichen Funkkommunikations-Sendeleistungen innerhalb von geschlossenen, durch dicke Wände oder metallische Abschirmungen funktechnisch stark abgeschotteten Räumen reduzieren lassen.

1.2 Umweltzeichen „Blauer Engel“

Mobiltelefone

Die Strahlenschutzkommission hat bereits im Jahr 2001[15] empfohlen, „bei der Entwicklung von Geräten und der Errichtung von Anlagen die Minimierung von Expositionen zum Qualitätskriterium zu machen.“ Dabei seien insbesondere Endgeräte der mobilen Telekommunikation zu betrachten, weil es hier am ehesten zu einer hohen Exposition eines Nutzers kommen kann. Um dementsprechend besonders strahlungsarme Mobiltelefone für den Verbraucher sichtbar zu kennzeichnen, wurden die Vergabekriterien für das Umweltzeichen „Der Blaue Engel“ durch die Jury „Umweltzeichen“ in Zusammenarbeit mit dem BMU und BfS im Juni 2002 festgelegt. Demnach kann der „Blaue Engel“ an Mobiltelefone vergeben werden, deren nach normierten Methoden ermittelten SAR-Werte bei höchstens 0,6 Watt pro Kilogramm liegen und die umwelt- und recyclingfreundlich produziert wurden.

Das BfS erhebt in regelmäßigen Abständen die unter standardisierten Bedingungen bestimmten maximalen SAR-Werte handelsüblicher Mobiltelefone und veröffentlicht sie unter www.bfs.de/de/elektro/oekolabel.html. Ende 2010 umfasste die Erhebung 1462 Geräte von 49 Herstellern und vier Netzbetreibern. Von den 1462 Geräten waren 169 Geräte UMTS-fähig. Für 1291 Geräte konnte ein unter standardisierten Laborbedingungen gemessener maximaler SAR-Wert für den Betrieb am Kopf bzw. am Ohr ermittelt werden. Für 133 Geräte konnte ein SAR-Wert für den Anwendungsfall „Betrieb am Körper“ ermittelt werden. Allerdings sind die für diesen Anwendungsfall zugrunde gelegten Messbedingungen noch nicht ausreichend standardisiert.

Die maximalen SAR-Werte der auf dem Markt befindlichen Mobiltelefone liegen gemäß der vom BfS durchgeführten Erhebung beim Betrieb am Kopf zwischen 0,10 und 1,94 W/kg. Beim Betrieb am Körper liegen die Werte zwischen 0,003 und 1,85 W/kg. Etwa 29% der Ende 2010 auf dem deutschen Markt befindlichen Geräte halten den für den Betrieb am Kopf aus Vorsorgegründen empfohlenen Höchstwert von 0,60 W/kg ein und erfüllen das entsprechende Kriterium des Umweltzeichens „Der Blaue Engel“. Lässt man die nicht mehr in Produktion befindlichen Geräte („Auslaufmodelle“) außer Acht, so liegen die SAR-Werte der 267 aktuell produzierten Mobiltelefone zwischen 0,13 und 1,80 W/kg (Kopf) bzw. 0,003 und 1,85 W/kg (Körper). Von diesen Mobiltelefonen erfüllen ca. 26% das Kriterium des „Blauen Engel“.

Aktuell ist kein Gerät mit dem Umweltzeichen ausgezeichnet. Das Bundesamt für Strahlenschutz hält eine für Verbraucherinnen und Verbraucher einfach zu erfassende Kennzeichnung strahlungsarmer Mobiltelefone nach wie vor für wünschenswert und empfiehlt hierfür die Nutzung des „Blauen Engels“. Die Hersteller sind weiterhin aufgefordert, die Entwicklung strahlungsärmerer Mobiltelefone voranzutreiben und sich auch weiter an einer verstärkten Verbraucherinformation zu beteiligen. Informationen zur Vergabe des Umweltzeichens „Der Blaue Engel“ durch das Deutsche Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung (RAL gGmbH) sind auf dessen Internetseite und speziell für die Produktgruppe Mobiltelefone unter der Adresse www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/produktsuche/produkttyp.php?id=168 zu finden.

Digitale Schnurlostelefone

Seit Anfang 2009 gibt es den „Blauen Engel“ auch für digitale Schnurlostelefone (RAL-UZ 131, www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/produktsuche/produkttyp.php?id=563). Hierunter fallen vor allem Geräte die

[14] Die Vorhaben des BMBF und des BMWi können dem Vierten Bericht der Bundesregierung über die Forschungsergebnisse in Bezug auf die Emissionsminderungsmöglichkeiten der gesamten Mobilfunktechnologie und in Bezug auf gesundheitliche Auswirkungen (Deutscher Bundestag, Drucksache 17/4408) (entnommen werden drucksachen.bundestag.de/drucksachen/index.php

[15] SSK-Empfehlung „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“, 173. Sitzung, www.ssk.de/de/werke/2001/volltext/ssk0103.pdf

nach dem DECT Funkstandard arbeiten. Auszuzeichnende Geräte müssen neben anderen Anforderungen die in der Vergabegrundlage definierten Kriterien "Anpassung der Sendeleistung", "Reichweitenbegrenzung" sowie "Abschalten der Sendesignale im Standby-Betrieb" erfüllen, die das Bundesamt für Strahlenschutz für strahlungsarme DECT-Schnurlostelefone bereits 2006 formuliert hatte (www. bfs.de/de/elektro/ Strahlungsarme_Dect_Schnurlostelefone.html). Derzeit werden drei Modelle eines Herstellers angeboten, die mit dem“Blauen Engel“ ausgezeichnet sind.

Babyphone

Für Babyüberwachungsgeräte (Babyphone) besteht bereits seit Ende 2006 die Möglichkeit der Auszeichnung mit dem „Blauen Engel“ (RAL-UZ 125, www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/produktsuche/produkttyp.php?id=353). Die Vergabekriterien begrenzen bei dieser Gerätekategorie zum Zwecke eines vorsorgenden Gesundheitsschutzes die niederfrequenten magnetischen Immissionen einschließlich der von den Netzteilen verursachten Felder. Bei funkbasierten Geräten darf die abgestrahlte hochfrequente Sendeleistung einen vorgegebenen Wert nicht übersteigen. Geräte, die als Dauersender arbeiten, sind von der Vergabe des „Blauen Engels“ ausgeschlossen. Daneben werden die Energieeffizienz und die Materialeigenschaften im Hinblick auf Umwelt- und Recyclingfreundlichkeit berücksichtigt. Drei Geräte mit der Auszeichnung „Blauer Engel“ gibt es derzeit auf dem Markt.

Mikrowellen

Auch Mikrowellenkochgeräte für den Hausgebrauch, die besondere Anforderungen hinsichtlich des Energieverbrauchs, der langlebigen und recyclinggerechten Konstruktion und der Verwendung umweltbelastender Materialien erfüllen, können seit dem Jahr 2010 mit dem Umweltzeichen „Der Blaue Engel“ ausgezeichnet werden (RAL-UZ 149, www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/produktsuche/produkttyp.php?id=513). Die austretende Mikrowellenleckstrahlung auszuzeichnender Geräte darf 1 W/m² nicht übersteigen und muss dementsprechend einer höheren als z.B. über die Gerätesicherheit geregelten Anforderung genügen. Bisher wurden noch kein Mikrowellenkochgerät mit dem „Blauen Engel“ ausgezeichnet.

Lampen

Die Vergabegrundlage des “Blauen Engels“ für Lampen (für den Innengebrauch) wurde ebenso wie die für Mikrowellenkochgeräte für den Hausgebrauch erst Mitte des Jahres 2010 veröffentlicht (RAL-UZ 151, www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/produktsuche/produkttyp.php?id=560). Die Vergabekriterien stellen besondere Anforderungen an den Energieverbrauch, an die dem Verbraucher zur Verfügung zu stellenden Informationen sowie an die Qualität und Gebrauchstauglichkeit der auszuzeichnenden Lampen. Zur vorsorglichen Reduzierung vermeidbarer Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern sind auf Vorschlag des Bundesamts für Strahlenschutz Kriterien zur Begrenzung der emittierten UV-Strahlung und der nieder- bis mittelfrequenten elektrischen Felder in der Vergabegrundlage enthalten. Auch für Innenraumlampen wurde bisher die Auszeichnung „ Blauer Engel“ noch nicht vergeben.

1.3 Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunksendeanlagen

In der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV; gültig seit 1. Januar 1997) sind für ortsfeste Sendefunkanlagen mit einer Sendeleistung von 10 W EIRP (äquivalent isotroper Strahlungsleistung) oder mehr, die gewerblich betrieben werden und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 10 MHz bis 300 GHz (300000 MHz) erzeugen, die maximal zulässigen Feldstärkewerte festgelegt worden.

Die Einhaltung dieser Grenzwerte wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Bundesnetzagentur (BNetzA) auf der Grundlage der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) überprüft. Seit dem 19. März 2007 setzt die Bundesnetzagentur zur Erfassung und Bewertung der örtlichen Immissionen von Funkanlagen ein automatisches Messsystem ein. Das System besteht aus insgesamt 14 mobilen Messstationen. Die damit erfassten Messwerte zeigten, dass auch 2010 die Grenzwerte an den Orten, an denen sich Menschen aufhalten, um Größenordnungen unterschritten werden.

Die Bundesnetzagentur stellt auf ihren Internetseiten seit 2003 eine Standortdatenbank zur Verfügung (emf2.bundesnetzagentur.de/karte.html). Hier werden standortbescheinigungspflichtige Funkanlagen mit einzuhaltenden Sicherheitsabständen, Messorte der EMF – Messreihen mit Ergebnisdarstellung und Standorte des automatischen Messsystems mit zeitlichen Verlauf der Grenzwertausschöpfung dargestellt. Der Öffentlichkeit ist damit eine Online-Recherche von Messorten der EMF-Messreihen und von in Betrieb befindlichen Standorten von Funkanlagen möglich, für die die BNetzA eine Standortbescheinigung erteilte. Die Bewertung der messtechnisch ermittelten Feldstärken erfolgt nach der Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz- 300 GHz) (1999/519/EG) und steht damit im Einklang mit den Anforderungen der EU-Ratsempfehlung und den in Deutschland geltenden Verordnungen (emf2.bundesnetzagentur.de/recht.html).

2. Optische Strahlung

2.1 Forschung zur UV-Strahlung

Die Einwirkung von künstlicher oder im Sonnenlicht enthaltener UV-Strahlung kann zu dauerhaften und irreversiblen schädlichen Veränderungen an Auge und Haut führen. Geringe Sonnenexpositionen können sich aber auch gesundheitsfördernd auswirken. Durch UV-B-Strahlung wird im Menschen die Synthese von Vitamin D induziert, welches den Kalziumspiegel im Blut reguliert und eine essentielle Rolle im Aufbau und Erhalt des Knochengewebes spielt. Auf Grund dieser unterschiedlichen Wirkun-

gen existieren international widersprüchliche Empfehlungen in Bezug auf eine UV-Bestrahlung.

Deswegen wurden auch im Jahr 2010 die 2009 durch das BfS initiierten Forschungsvorhaben im Bereich UV und auch in Bezug auf das mögliche Zusammenwirken von UV- und IR-Strahlung weiterhin durchgeführt. (Tabelle VI.2-1).

Tabelle VI.2-1

Forschungsvorhaben zum Thema UV

Bestimmung der individuellen solaren UV-Exposition in Abhängigkeit von Lebensstil und aktuellem UV-Index
UV-abhängige Vitamin D Synthese - Bilanzierung der Expositionszeit durch UV zur Produktion des optimalen Vitamin D_3 Bedarfs im menschlichen Körper

2.2 Solares UV-Monitoring in Deutschland

Seit 1993 wird die bodennahe solare UV-Strahlung an zehn repräsentativen Standorten in Deutschland kontinuierlich und spektral aufgelöst gemessen. An den Messungen sind das BfS, das Umweltbundesamt und weitere staatliche und universitäre Institutionen beteiligt. Die Messdaten werden in der BfS-Messnetzzentrale in Neuherberg/Oberschleißheim gesundheitlich bewertet, dokumentiert und regelmäßig unter
www.bfs.de/de/uv/uv2/uv_messnetz/uvi/messnetz.html
veröffentlicht.

Eine wichtige Kenngröße für die Öffentlichkeitsarbeit ist der UV-Index. Der globale solare UV-Index (UVI) ist ein Maß für die am Boden vorliegende sonnenbrandwirksame UV-Strahlung. Sowohl die täglichen Messwerte aller Stationen als auch die 3-Tages-Prognose in den Sommermonaten werden als UVI veröffentlicht (www.bfs.de/de/uv/uv2/uv_messnetz/uvi/prognose.html).

In Abbildung VI.2-1 wurden für das Jahr 2010 die maximalen, mittleren und minimalen UVI-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden (Messstationen sind in Westerland und Zingst), die Mitte (Messstationen sind in Dortmund, Lindenberg, Kulmbach) und den Süden (Messstation ist in München) der Bundesrepublik dargestellt.

Die monatliche Schwankungsbreite der UV-Werte ist vor allem witterungsbedingt sehr groß. Die höchsten UVI-Werte mit Maximalwerten bis 10 traten im Süden Deutschlands im Mai und Juni auf. Im Norden und in der Mitte Deutschlands trat im Juni und Juli ein Maximalwert von 8 auf. Ab UVI-Werten von 8 ist die UV-Belastung sehr hoch und besondere Schutzmaßnahmen sind erforderlich. Eine durch den Abbau der atmosphärischen Ozonschicht bedingte Zunahme der UV-Strahlungsintensität kann jedoch auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen derzeit nicht nachgewiesen werden.

2.3 Zertifizierung von Solarien

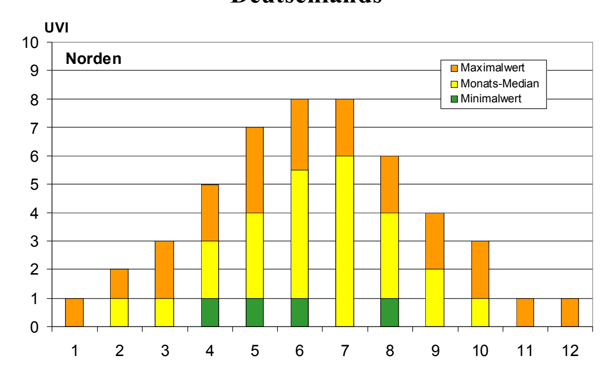
Die UV-Belastung der Bevölkerung steigt auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und der Nutzung so genannter Wellness-Bereiche mit Solarien kontinuierlich an. Die gleichzeitige Besorgnis erregende Zunahme von Hautkrebs wird mit diesem Freizeitverhalten in Verbindung gebracht. Deswegen haben sich BMU und BfS auch 2010 für die Umsetzung von Maßnahmen eingesetzt, um die UV-Belastung durch Solarien für die Nutzer zu reduzieren.

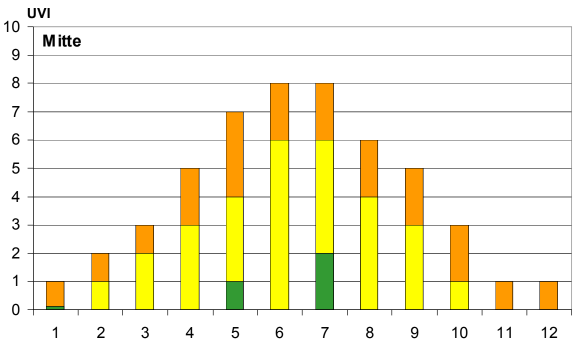
Als eine Maßnahme hierzu wurde vor rund zehn Jahren eine freiwillige Zertifizierung für Solarien nach den Kriterien des Runden Tischs Solarien (RTS) etabliert. Die wesentlichen Kriterien für diese Zertifizierung waren:

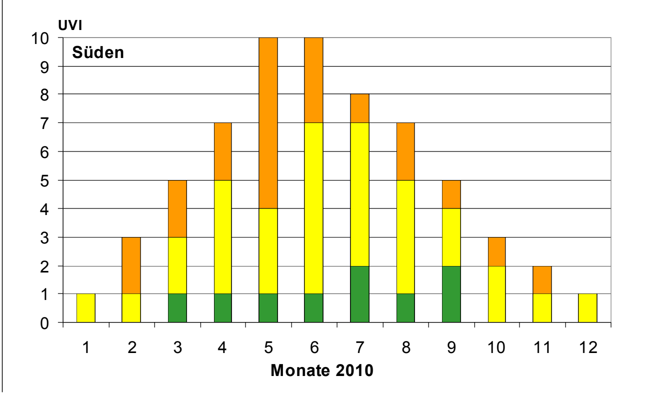
- definierte Gerätestandards mit limitierter UV-Bestrahlung,
- Prüfungsvorschriften,
- einheitliche Betriebsabläufe bzgl. der Hygiene und
- fachliche Qualifikation der im Kundenkontakt stehenden Mitarbeiter.

Abbildung VI.2-1

Maximale und mittlere UVI-Werte der Monate im Jahr 2010 im Norden, in der Mitte und im Süden Deutschlands







Darüber hinaus verpflichtet sich der Studiobetreiber, Personen unter 18 Jahren die Nutzung seiner Geräte zu untersagen.

Neue europäische Vorgaben u. a. hinsichtlich der Bestrahlungsstärke erforderten 2007 die Anpassung der bisherigen Kriterien. Das Zertifizierungsverfahren „Zertifiziertes Solarium“ wurde demzufolge von dem Verfahren „Geprüftes Sonnenstudio“ abgelöst.

Bis 31. Juli 2008 waren knapp 800 Sonnenstudios der ca. 5500 Sonnenstudios deutschlandweit (nach Angaben von Vertretern der Solarienbranche) zertifiziert. Am 1. August 2008 wurde eine niedrigere Gesamtbestrahlungsstärke für Solarien in zertifizierten Betrieben von 0,3 W/m^2 eingeführt. Danach ließen sich keine weiteren Sonnenstudios mehr zertifizieren.

Überprüfungen der als zertifiziert gemeldeten Sonnenstudios durch das BfS zeigten bei einem hohen Anteil der Studios eklatante Mängel. Der Bericht zur letztmaligen Überprüfung in 2008 ist veröffentlicht unter www.bfs.de/de/uv/uv2/solarien/freiw_zertifizierung/Qualitaetskontrolle_zert_Sol.html. Dies machte deutlich, dass ein freiwilliges Verfahren keinen effektiven Verbraucherschutz in Sonnenstudios gewährleisten kann.

Um den Verbraucher vor den nachgewiesenen Gesundheitsgefahren durch UV-Strahlung zu schützen, hat das BMU mit Unterstützung des BfS rechtliche Regelungen zu Solarien erarbeitet (gesetzliches Solarienbenutzungsverbot für Minderjährige, Qualitätsanforderungen an den Betrieb von Solarien wie z. B. Begrenzung der Bestrahlungsstärke, Einsatz von qualifiziertem Personal, Informations- und Dokumentationspflichten). Am 4. August 2009 trat das Gesetz zur Regelung des Schutzes vor nichtionisierender Strahlung (NiSG) in Kraft. Seither ist damit Solarienbetreibern verboten, Minderjährigen die Nutzung von Solarien zu erlauben. Die Zuwiderhandlung ist eine Ordnungswidrigkeit und kann seit dem 1. März 2010 mit einem Bußgeld bis zu 50.000 € geahndet werden. Das Gesetz ermächtigt u.a. auch zum Erlass einer Rechtsverordnung bzgl. Solarien. Das BMU hat mit Unterstützung des BfS eine solche Rechtsverordnung - die UV-Schutzverordnung - basierend auf den Kriterien des freiwilligen Zertifizierungsverfahrens erarbeitet. In der UV-Schutzverordnung sind für gewerblich betriebene Sonnenstudios Gerätestandards wie die Begrenzung der sonnenbrandwirksamen Bestrahlungsstärke auf 0,3 W/m^2 für alle UV-Bestrahlungsgeräte und Anforderungen an deren Betrieb festgelegt. Darüber hinaus werden die Qualifikation und die Aufgaben des Fachpersonals sowie Informations- und Dokumentationspflichten geregelt. Diese Verordnung befand sich 2010 noch im politischen Abstimmungsprozess.

Anhang A:

Strahlendosis und Strahlenwirkung

Messgrößen der Umweltradioaktivität und der Strahlenbelastung

Die beiden wesentlichen Größen in diesem Bericht im Bereich der ionisierenden Strahlung sind das Becquerel und das Millisievert. In Becquerel (Bq) wird die „Menge“ an Radioaktivität in einem bestimmten Umweltmedium (Umweltradioaktivität) angegeben, in Millisievert (mSv) die sich daraus ergebende Strahlenbelastung des Menschen. Den Zusammenhang zwischen beiden Größen untersuchen die Radioökologie und die Dosimetrie; die Vermeidung bzw. größtmögliche Einschränkung der Strahlenbelastung ist Ziel des Strahlenschutzes[13].

Ein Becquerel pro Maßeinheit eines Umweltmediums – also z.B. pro Kubikmeter Luft, pro Liter Wasser oder pro Kilogramm – bedeutet, dass sich in der betrachteten Substanzmenge pro Sekunde ein Atom unter Abgabe von Strahlung in ein anderes umwandelt. Für die Strahlenbelastung (Dosis) ist wichtig, wo sich das Atom zum Zeitpunkt seines Zerfalls befindet (im Körper oder außerhalb) und welche Art von Strahlung (Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung) es abgibt. Alphastrahlung hat eine hohe Schadenswirkung auf betroffene Körperzellen, aber nur eine geringe Reichweite von unter einem Millimeter. Alphastrahler müssen sich also im Körper befinden, um zu einer Strahlenbelastung zu führen. Das wichtigste Beispiel hierfür sind die Zerfallsprodukte des radioaktiven Edelgases Radon, die durch Ablagerungen in der menschlichen Lunge einen großen Teil der Strahlenbelastung des Menschen bewirken. Gammastrahlen haben demgegenüber eine Reichweite von mehreren Metern. Auf diese Weise können radioaktive Atome in der Umgebung zur Strahlenbelastung beitragen. Betastrahler liegen in ihrer Reichweite zwischen den beiden anderen Strahlenarten. Neben diesen Strahlenarten, die bei Atomumwandlungen entstehen, führen auch Röntgenstrahlen, die künstlich erzeugt werden, zu einer Strahlenbelastung.

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Radioaktivitätsmenge einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man den Becquerel-Wert mit einem sog. Dosisfaktor multipliziert.

Im Dosisfaktor werden dabei verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt (siehe nächster Abschnitt „Die Strahlendosis und ihre Einheiten“). Endergebnis dieser Berechnungen ist die Strahlenbelastung als effektive Dosis in Millisievert. Dadurch, dass dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Gesamtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbetrachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

[13] ALARA-Prinzip: „**A**s **l**ow **a**s **r**easonably **a**chievable“

Im vorliegenden Bericht ist zusätzlich eine Mittelung über die Gesamtbevölkerung durchgeführt worden. Da die einzelnen Komponenten – besonders die Exposition durch medizinische Maßnahmen und durch Radon – individuell sehr stark variieren, kann die individuelle Strahlenexposition auch deutlich höher oder deutlich geringer sein als der ausgewiesene Mittelwert über die Gesamtbevölkerung.

Die Strahlendosis und ihre Einheiten

Man charakterisiert die physikalischen und biologischen Auswirkungen am „Zielort Mensch“, an dem Strahlung absorbiert wird, durch verschiedene Dosisgrößen, u.a. die effektive Dosis, die in Millisievert (mSv) angegeben wird. Die effektive Dosis ist ein Maß für die Strahlenexposition, d.h. die Strahlenbelastung des Menschen. Sie beruht auf der Energiedosis als Maß für die von einem Stoff aufgenommene Energie. Da diese Schutzgrößen nicht direkt gemessen werden können, definiert die StrlSchV in ihrer Fassung vom 1. August 2001 außerdem als Messgrößen die Personendosis und die Ortsdosis.

Als Maß für die physikalische Strahlenwirkung kann die von einem Stoff aufgenommene Energie verwendet werden. Dafür ist die Energiedosis definiert worden. Die **Energiedosis** einer ionisierenden Strahlung gibt die pro Masse eines durchstrahlten Stoffes absorbierte Energie an.

$$\boldsymbol{Energiedosis} = \frac{\boldsymbol{absorbierte\ Strahlungsenergie}}{\boldsymbol{Masse}}$$

Der Quotient Joule pro Kilogramm wird als Einheit für die Energiedosis verwendet. Der besondere Einheitenname für die Energiedosis ist das Gray (Gy).

$$1\boldsymbol{Gy} = 1\frac{\boldsymbol{J}}{\boldsymbol{kg}}$$

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Strahlensituation einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man die Energiedosis mit einem Umrechnungsfaktor multipliziert. Dieser Strahlungswichtungsfaktor berücksichtigt, dass die verschiedenen Strahlenarten (z.B. Alphastrahlung verglichen mit Betastrahlung) unterschiedliche biologische Strahlenwirkungen haben. Bestrahlt man zwei gleiche biologische Objekte, z.B. tierische oder menschliche Gewebezellen in einem Fall mit Betastrahlung und im anderen Fall mit Alphastrahlung gleicher Energiedosis, so stellt man fest, dass die biologischen Strahlenwirkungen durch Alphastrahlen etwa 20mal größer sind. Dies kann dadurch erklärt werden, dass Alphastrahlen eine größere Anzahl von Ionen pro Weglänge erzeugen, also dichter ionisieren. Eine dichtere Ionisierung in einem kleinen Bereich ist schädlicher als eine lockere Ionisierung in einem größeren Bereich.

Durch diese Umrechnung erhält man zunächst die **Organdosis**. In Formeln lässt sich dies folgendermaßen ausdrücken:

$$\boldsymbol{H}_{\mathbf{T,R}} = \boldsymbol{w}_{\mathbf{R}} \times \boldsymbol{D}_{\mathbf{T,R}}$$

$D_{T,R}$ **Energiedosis** im Organ T durch die Strahlungsart R

w_R Strahlungs-Wichtungsfaktor

$H_{T,R}$ **Organdosis** im Organ T durch die Strahlungsart R

Die Werte der Strahlungs-Wichtungsfaktoren sind in der StrlSchVvon 2001wie folgt festgelegt:

Tabelle A 2-1

Strahlungs-Wichtungsfaktoren w_R nach StrlSchV, Anl. VI, Teil C

Strahlenart und Energiebereich	w_R
Photonen, alle Energien	1
Elektronen, Myonen, alle Energien	1
Neutronen < 10 keV 10 KeV bis 100 keV > 100 keV bis 2 MeV > 2 MeV bis 20 MeV > 20 MeV	 5 10 20 10 5
Protonen außer Rückstoßprotonen > 2 MeV	5
Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne	20

Die Einheit der Organdosis ist das **Sievert** (Sv). Da der Strahlungs-Wichtungsfaktor dimensionslos ist, ist die Dimension der Organdosis ebenfalls Joule pro Kilogramm. Da Strahlendosen im Sievertbereich selten auftreten, wird üblicherweise die Untereinheit **Millisievert** verwendet. Ein Sievert entspricht 1000 Millisievert.

Die verschiedenen Organe und Gewebe sind in Hinblick auf mögliche Strahlenschäden unterschiedlich empfindlich. Um die Strahlenbelastungen verschiedener Organe vergleichen zu können, wurde deshalb die **effektive Dosis** eingeführt, die als Maß für die Gesamtbelastung eines Menschen durch ionisierende Strahlung dient. Die effektive Dosis ergibt sich aus der Organdosis durch Multiplikation mit dem Gewebe-Wichtungsfaktor.

$$E = w_T \times H_T$$

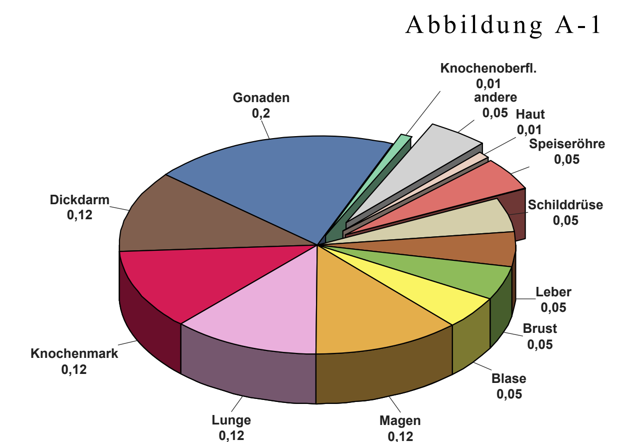
Die Gewebe-Wichtungsfaktoren sind in der folgenden Abbildung A-1 dargestellt, sie ergeben zusammengenommen den Wert 1.

Da dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Gesamtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbetrachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

Die Wirkung einer Strahlenart auf ein Organ kann also durch Multiplikation der Energiedosis mit dem Strahlungs-Wichtungsfaktor und dem Gewebe-Wichtungsfaktor in Zahlen gefasst werden. Soll die effektive Dosis für eine Strahlenexposition durch mehrere Strahlungsarten berechnet werden, die mehrere Organe betreffen, so müssen die genannten Formeln zusammengefasst und eine Summierung über alle Komponenten durchgeführt werden:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

Abbildung A-1



Gewebe-Wichtungsfaktoren nach StrlSchV, Anlage VI, Teil C

Die Messung der Dosis

Die bisher genannten Dosisgrößen Energiedosis, Organdosis und effektive Dosis werden als **Körperdosen** bezeichnet. Sie dienen dazu, die Ziele zu definieren, die im Strahlenschutz erreicht werden müssen. So ist z.B. bei beruflich strahlenexponierten Personen die effektive Dosis pro Jahr auf 20 mSv beschränkt. Die Körperdosen sind **Schutzgrößen**. Nur in den allerseltensten Fällen kann eine Dosis direkt im Körper eines Menschen gemessen werden. Ihre Einhaltung wird deshalb mit den **Messgrößen** überwacht. Diese **Äquivalentdosen** sind also Dosisgrößen, die messbar oder berechenbar sind. Liegen die Messwerte dieser Größen unterhalb der Grenzen, werden auch die Schutzgrößen im zulässigen Bereich liegen.

Alle Messgrößen beziehen sich auf den menschlichen Körper oder als Ersatz auf ein Phantom aus gewebeäquivalentem Material (Dichte 1 g cm^{-3}, Massenzusammensetzung 76,2 % Sauerstoff, 11,1 % Kohlenstoff, 10,1 % Wasserstoff und 2,6 % Stickstoff), der sogenannten **ICRU-Kugel** mit 30 cm Durchmesser, die von der ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry) im Jahr 1993 eingeführt worden ist.

Die StrlSchV definiert als Messgrößen die **Personendosis** als Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person und unterscheidet die **Tiefen-Personendosis** $H_p(10)$ in einer Messtiefe von 10 mm und die **Oberflächen-Personendosis** $H_p(0{,}07)$ in einer Messtiefe von 0,07 mm. Die Tiefen-Personendosis wird z.B. von einem üblichen Ganzkörperdosimeter (Filmdosimeter) gemessen, das an der Vorderseite des Rumpfes getragen wird. Die Oberflächen-Personendosis ist z.B. für die Bestimmung durch ein Fingerdosimeter zur Überwachung der Hautdosis als Teilkörperdosis gedacht.

Eines der gebräuchlichsten Personendosimeter, das **Filmdosimeter**, beruht auf der Schwärzung fotografischer Filme. Nach Ablauf der Einsatzzeit eines Filmdosimeters, die in der Regel einen Monat beträgt, werden die Filme entwickelt, das Schwärzungsmuster optisch ausgewertet und daraus die Dosis bestimmt. Da die Filmschwärzung dauerhaft erhalten bleibt, können die Dosimeterfilme archiviert werden. Aus diesem Grunde werden Filmdosimeter bevorzugt bei der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen verwendet.

Ohne Vorhandensein einer Person wird die Ortsdosis bestimmt. Dies ist die Äquivalentdosis gemessen an einem bestimmten Punkt im Strahlungsfeld. Auch hier gibt es zwei Unterarten und zwar die Umgebungs-Äquivalentdosis H*(10) und die Richtungs-Äquivalentdosis H´(0,07,Ω). Alle diese Messgrößen sind Punktgrößen mit der Einheit Sievert (Sv) und ergeben sich aus der Energiedosis durch Multiplikation mit dem Qualitätsfaktor Q, der ähnlich wie der Strahlungs-Wichtungsfaktor die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlenarten berücksichtigt.

Äußere und innere Bestrahlung[14]

Bei einer Bestrahlung von außen (die Strahlenquelle befindet sich außerhalb des Organismus, externe Bestrahlung) ist die Eindringtiefe der verschiedenen Strahlenqualitäten in das menschliche Gewebe sehr unterschiedlich. Gammastrahlung hat wie Röntgenstrahlung die Fähigkeit, den gesamten Körper zu durchdringen und ihn mit geschwächter Intensität wieder zu verlassen, während Alpha- und Betateilchen nur eine geringe Eindringtiefe besitzen. Bei Alphastrahlung ist die Eindringtiefe so gering, dass nur die äußere Zellschicht der Haut betroffen ist. Die Keimschicht der Haut (stratum germinativum), in der die Zellerneuerung stattfindet, liegt bei äußerer Alphabestrahlung bereits außerhalb der Reichweite der Alphateilchen. Bei Betastrahlung liegt die Eindringtiefe im Gewebe im Bereich von einigen Millimetern, so dass es bei einer Bestrahlung von außen bei relativ hohen Strahlendosen beispielsweise zu Hautschäden und Schäden der Augenlinse, aber nicht zu Schäden in tiefer gelegenen Geweben kommen kann. Bei niedrigen Strahlendosen ist die Bestrahlung durch Alpha- und Betastrahlung von außen für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung.

Radionuklide, bei deren Zerfall Alpha- bzw. Betastrahlung entsteht, sind jedoch dann in Risikobetrachtungen einzubeziehen, wenn sie mit der Nahrung bzw. dem Trinkwasser (Ingestion) oder durch Atmung (Inhalation) dem Körper zugeführt oder durch Wunden in den Körper aufgenommen werden. Die Bestrahlung erfolgt dann von innen. Zur Bestimmung der Strahlendosis ist es bei einer solchen Inkorporation der radioaktiven Stoffe notwendig, die Verteilung der Radionuklide und ihre Verweildauer im Organismus bzw. in einzelnen Organen sowie Geweben genau zu kennen. Diese Biokinetik, die sich vor allem aus dem Stoffwechselverhalten und anderen biologischen Vorgängen ergibt, muss bei der Dosisabschätzung für die Strahlenexposition von innen berücksichtigt werden. Neben physikalischen Eigenschaften der Strahlung und den physikalischen Halbwertszeiten der Radionuklide gehen zahlreiche, u.a. altersabhängige biokinetische Parameter in die Dosisermittlung ein.

Radionuklide mit einer langen physikalischen Halbwertszeit und einer zusätzlich langen Verweildauer (lange biologische Halbwertszeit) im Organismus tragen nach einer Inkorporation über eine entsprechend lange Zeit zur Strahlendosis bei. Daher wird bei der Berechnung der Strahlendosis nach Inkorporation derartiger Radionuklide die 50-Jahre-Folgedosis (70-Jahre-Folgedosis bei Kindern) ermittelt. Das bedeutet, dass bei der Festlegung des Dosisfaktors die Dosisleistung (Strahlendosis in einem Zeitintervall, dividiert durch dieses Zeitintervall) über die auf die Inkorporation folgenden 50 Jahre (bzw. 70 Jahre) integriert (aufsummiert) wird. Unter diesen Annahmen sind Dosisfaktoren für die verschiedenen Inkorporationswege (z.B. Ingestion und Inhalation) sowie für verschiedene chemische Formen der inkorporierten Radionuklide (z.B. löslich und unlöslich) abgeschätzt worden.

Die Aktivität einer radioaktiven Substanz wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die Anzahl der Becquerel bezeichnet die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen je Sekunde. Die frühere Einheit ist das Curie (Ci; 1 Ci ist gleich $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq). Kenngröße für die Exposition von innen ist der Dosisfaktor, d.h. der Quotient aus der in einem bestimmten Gewebe oder Organ erzeugten Organdosis und der dem Körper zugeführten Aktivität eines bestimmten Radionuklids, gemessen in Sievert pro Becquerel (Sv/Bq). Durch Multiplikation des Dosisfaktors mit der Aktivität des aufgenommenen Radionuklids wird die Äquivalentdosis errechnet.

Die Konzentration der Ionisations- und Anregungsprozesse ionisierender Teilchen auf den Nahbereich der Teilchenbahnen hat bei mikroskopischer Betrachtungsweise auch die Bedeutung einer von Zelle zu Zelle statistisch variierenden Anzahl der Teilchendurchgänge; die Energiedosis gibt nur den räumlichen Mittelwert der massebezogenen Energiedeposition an. Bei einer Energiedosis von 10 mGy erfährt z.B. nur einer unter ca. 40 Zellkernen des Querschnitts 60 μm^2 den Durchgang eines Alphateilchens der Anfangsenergie 5 MeV. Erst bei wesentlich höheren Dosen – für Alphateilchen bei etwa 500 mGy – kommt es ebenso oft vor, dass ein Zellkern von einem bzw. von zwei oder mehr Alphateilchen getroffen wird, aber auch bei dieser Dosis ereignet sich in etwa 30 % aller Zellkerne kein Teilchendurchgang. Bei locker ionisierender Strahlung erfahren in diesem Dosisbereich bereits alle Zellkerne eine annähernd gleiche Anzahl von Teilchendurchgängen.

Mit abnehmender Dosis kommt man also in einen Bereich, in dem nicht mehr alle, sondern nur noch einzelne Zellen und Zellkerne (Durchmesser des Kernes einer menschlichen Zelle: etwa 8 µm) von einem Teilchendurchgang betroffen werden. Die Zahl der dann noch getroffenen Zellkerne nimmt bei weiterer Verminderung der Strahlendosis proportional zu dieser ab. Der Dosisbereich, in dem diese inhomogene Verteilung der Teilchendurch-

[14] Aktualisierter Text aus: „Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium“, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14, Stuttgart – New York, 1989, S. 25 ff.

gänge aufzutreten beginnt, ist von der Strahlenqualität abhängig. Bei Strahlung mit niedrigem linearem Energietransfer (LET) liegt er tiefer als bei Strahlung mit hohem LET. So tritt dieses Phänomen bei Röntgen- und Gammastrahlung im Dosisbereich unterhalb etwa 3 mGy und bei 14-MeV-Neutronen unterhalb etwa 50 mGy auf. Bei Alphastrahlung (z.B. nach Zerfall von Plutonium-239) erstreckt sich der Bereich der vereinzelten Teilchendurchgänge zu noch höheren Dosen (s.o.). Bei inkorporierten Radionukliden, die an Partikel (Schwebstoffe) gebunden sind oder in Zellen durch Phagozytose akkumuliert sind, kann in der unmittelbaren Nachbarschaft eine zusätzliche Inhomogenität der mikroskopischen Dosisverteilung auftreten. Diese Bedingungen sind bei Radionukliden, die bei ihrem Zerfall Alphateilchen emittieren, von besonderer Relevanz (hot particles).

Stochastische und deterministische Strahlenwirkung[14]

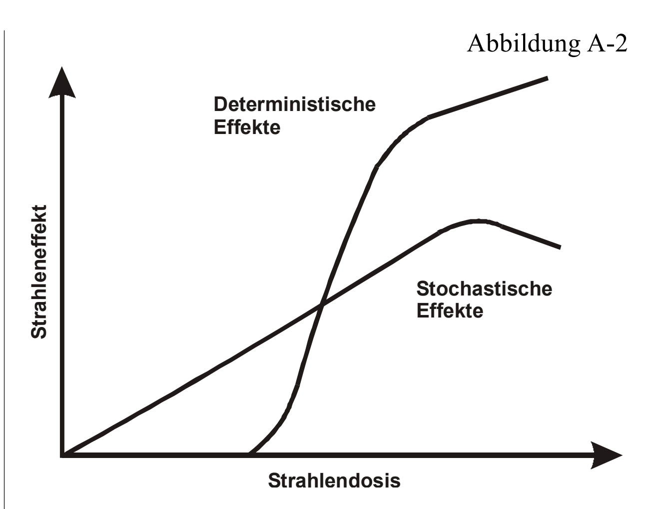
Im Strahlenschutz werden stochastische und nicht-stochastische (deterministische) Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadenstypen haben grundsätzlich verschiedene Dosis-Wirkungsbeziehungen. Bei den nicht-stochastischen Strahlenwirkungen muss zunächst eine Schwellendosis überschritten werden, bevor die im Folgenden beschriebenen Effekte induziert werden können (Abbildung A-2). Oberhalb der Schwellendosis tritt der gesundheitliche Effekt auf und der Schweregrad dieses Effektes nimmt mit steigender Dosis zu. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multizellulärer Mechanismus zu Grunde. Es müssen viele Zellen geschädigt werden, damit es zu einer Manifestation derartiger Effekte kommt. Zu diesen Strahlenwirkungen zählen alle akuten Strahleneffekte, wie Hautrötung (Erythem), Haarausfall oder verminderte Blutbildung.

Bei einem zweiten Typ von Strahlenwirkungen, den stochastischen Effekten, wird davon ausgegangen, dass keine Schwellendosis besteht und dass die Wahrscheinlichkeit des Eintretens mit steigender Strahlendosis zunimmt. Auch bei kleinen Strahlendosen können also noch Wirkungen auftreten, wenn auch mit geringerer Wahrscheinlichkeit als bei höheren Dosen (Abbildung A-2).

Für den Strahlenschutz sind die stochastischen Strahlenwirkungen Krebs, Leukämie und genetische Schäden daher von entscheidender Bedeutung. Ihr Auftreten unterliegt einer Zufallsverteilung, d.h. in einem Kollektiv gleich exponierter Personen werden sie mit einer durch den statistischen Erwartungswert nur angenähert voraussagbaren Häufigkeit beobachtet. Als „Risiko“ wird im Strahlenschutz die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwirkung bei der Einzelperson bezeichnet; Der Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit der Krebsentstehung und Dosis wird durch den Risikokoeffizienten ausgedrückt.

Zu dieser Kategorie von Strahlenwirkungen zählen die Induktion von vererbbaren Defekten und von malignen Erkrankungen (Leukämie und Krebs). Man geht davon aus, dass es sich bei den stochastischen Strahlenwirkungen um unizelluläre Prozesse handelt. Bei den vererbbaren Defekten muss nur eine Keimzelle geschädigt werden, damit es nach deren Beteiligung an einer erfolgreichen Befruchtung zu einer Mutation in der Folgegeneration kommt. Bei der Induktion von Leukämie und Krebs wird angenommen, dass die maligne Transformation einer Zelle ausreichend ist, um eine derartige Erkrankung zu verursachen.

Abbildung A-2



Schematische Darstellung der Dosis-Wirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte

Genetische Strahlenwirkungen

Wirken ionisierende Strahlen auf Keimdrüsen oder Keimzellen, können sie Schäden im Erbgut (Mutationen) verursachen, die zu genetisch bedingten Krankheiten (Erbschäden) führen. Diese können sich bei den Kindern und Kindeskindern der bestrahlten Personen in Form von Fehlbildungen, Stoffwechselstörungen, Immunschäden etc. auswirken, aber auch erst nach vielen Generationen sichtbar werden. Wie Krebserkrankungen sind auch genetisch bedingte Krankheiten keine spezifischen Folgen einer Strahlenexposition, sondern treten mit dem gleichen klinischen Erscheinungsbild auch spontan oder infolge anderer Umwelteinflüsse auf.

Ein Zusammenhang zwischen einer Strahlenexposition und dem Auftreten von genetischen Effekten konnte beim Menschen bisher nicht beobachtet werden. Das größte Kollektiv bestrahlter Eltern stellen die Atombomben-Überlebenden dar. Die Kinder dieser Eltern sind registriert und werden bis heute immer wieder auf genetische Effekte untersucht. Bisher wurde unter den Kindern und Kindeskindern der Atombomben-Überlebenden aber keine statistisch signifikante Erhöhung in der Häufigkeit von Erbkrankheiten gegenüber der unbestrahlten japanischen Bevölkerung beobachtet. Daher ist man bei Risikoabschätzungen darauf angewiesen, die Wirkungen relativ starker Bestrahlungen im Tierexperiment zu untersuchen und von diesen Ergebnissen auf die statistisch bisher nicht erfassbaren Wirkungen niedriger Strahlendosen beim Menschen zu schließen.

Die Internationale Strahlenschutz-Kommission (ICRP) geht davon aus, dass das genetische Risiko für bis zu zwei Generationen nach Bestrahlung der Eltern mit einer einmaligen Gonaden-Dosis von 1 Gy bei 500 Geburten zu einer zusätzlichen schweren Erkrankung führt, die durch

eine strahlenbedingte Mutation verursacht wird. Bei chronischer Strahlenbelastung über mehrere Generationen wird davon ausgegangen, dass durch eine Gonaden-Dosis von 1 Gy ein zusätzlicher Fall einer Mutation bei 100 Geburten ausgelöst wird, welche die Ursache für eine schwere Erkrankung ist.

Bei den Abschätzungen des genetischen Strahlenrisikos geht man von einer Verdoppelungsdosis in Höhe von 1 Gy im Falle einer chronischen Bestrahlung aus. D. h. eine Dosis von 1 Gy verdoppelt die spontane Mutationshäufigkeit für die Gesamtheit aller klinisch dominanten Mutationen, die bei etwa 2 % pro Generation liegt. Für den Fall einer akuten Bestrahlung liegt die Verdopplungsdosis bei 0,3 Gy. Von den röntgendiagnostischen Maßnahmen verursacht die Computer-Tomographie (CT) die höchste Strahlenexposition. Eine CT des Unterleibs bedingt etwa eine Keimdrüsendosis von 35 mSv (Ovarien) bis 40 mSv (Hoden). Dies erhöht das spontane genetische Risiko von etwa 2 bis 3 % (für monogenetische und chromosomale Erkrankungen) um 0,07 % bei der Frau und 0,08 % beim Mann.

Induktion bösartiger Neubildungen

Während für die Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos keine ausreichenden Erfahrungen beim Menschen vorliegen, kann man für die Abschätzung des Risikos für bösartige Neubildungen, d. h. Leukämien und solide Tumoren, auf eine Vielzahl von Daten aus epidemiologischen Untersuchungen beim Menschen zurückgreifen. In Betracht kommen hierfür vor allem Untersuchungen an

- Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki,
- Patienten mit medizinischen Strahlenexpositionen,
- Personen nach beruflichen Strahlenexpositionen,
- Personen mit hohen Radonexpositionen in Wohnungen,
- Personen mit signifikanten Strahlenbelastungen durch die Tschernobyl-Katastrophe.

Da sich eine strahlenbedingte Krebserkrankung nicht von einer „spontanen“ unterscheidet, können diese im Einzelfall nicht allein auf Grund ihrer Erscheinungsform oder ihres klinischen Verlaufes als strahlenbedingte Erkrankung erkannt werden. Nur epidemiologisch-statistische Untersuchungen können dazu beitragen, quantitative Daten für die Risikoabschätzung beim Menschen zu erhalten. Strahlenexponierte Personengruppen müssen dabei vergleichbaren (etwa hinsichtlich Alter und Geschlecht) nicht-exponierten Personengruppen gegenübergestellt werden. Dann kann erkannt werden, ob und in welchem Ausmaß die Raten an malignen Erkrankungen nach Bestrahlung in der exponierten Gruppe erhöht sind. Es kann lediglich die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, mit der eine individuelle Krebserkrankung durch die vorausgegangene Bestrahlung verursacht ist.

Erschwert werden diese Untersuchungen dadurch, dass die Erkrankungen mit einer erheblichen Latenzzeit (5-10 Jahre bei Leukämien und Lymphomen bis zu mehreren Jahrzehnten bei soliden Tumoren) auftreten können und damit analytisch, z.B. hinsichtlich der Anamnese, schwerer zugänglich sind. Da Leukämien mit einer relativ kurzen Latenzzeit nach einer Bestrahlung und mit einem besonders hohen relativen Risiko beobachtet werden, liegen für diese Erkrankungen verhältnismäßig viele Daten vor.

Es wurde beobachtet, dass vor allem myeloische Leukämien (akute und chronische Erscheinungsformen), aber auch akute lymphatische Leukämien, nach Bestrahlung vermehrt auftreten. Dagegen sind chronisch-lymphatische Leukämien nur in sehr geringem Maße nach Strahlenexpositionen vermehrt beobachtet worden.

Neben der Frage, ob die Erkrankungsrate in einer exponierten Bevölkerungsgruppe höher liegt als in einer nicht exponierten, ist es besonders wichtig festzustellen, wie das Risiko von der Dosis abhängt, d.h. ob es eine Dosis-Wirkungs-Beziehung gibt. Bei Untersuchungen an den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki, der für die Risikoabschätzung wichtigsten Bevölkerungsgruppe, zeigen sich signifikante Dosis-Wirkungs-Beziehungen sowohl für Leukämien als auch für solide Tumoren. Für Kinder, die vorgeburtlich durch Röntgenstrahlen exponiert wurden, traten bei Expositionen über 10 mSv signifikant gehäuft kindliche Leukämien und in geringerem Maße auch solide Tumoren auf. Vergleichbare Beobachtungen konnten bei Kindern, die in Hiroshima und Nagasaki vorgeburtlich exponiert wurden, aber nicht gemacht werden. Die Abschätzungen zum Krebsrisiko von Kindern nach vorgeburtlicher Strahlenexposition müssen daher als unsicher bewertet werden. Nach unserem heutigen Verständnis über die Strahlenwirkungen auf Moleküle und Zellen ist davon auszugehen, dass auch geringe Strahlendosen bösartige Neubildungen hervorrufen können. Die Zahl der Fälle wird jedoch dann so klein, dass andere Faktoren wie Lebensgewohnheiten, genetische Prädispositionen usw., die ebenfalls das Risiko für bösartige Neubildungen beeinflussen, mit ihrer Variabilität das strahlenbedingte Risiko überlagern, so dass Letzteres sich in der Allgemeinbevölkerung aus den Schwankungen der „spontanen“ Rate nicht mehr heraushebt.

Neben dem Knochenmark (Induktion von Leukämie) und dem Brustgewebe zählen auch die Lunge und die Epithelien der Bronchien zu den strahlenempfindlichen Geweben hinsichtlich der Induktion von Tumoren. Eine erhöhte Rate an Lungentumoren ist bei Bergarbeitern beobachtet worden, die in Bergwerken mit hohem Radongehalt in der Luft tätig gewesen sind. Durch den radioaktiven Zerfall dieses mit der Atemluft eingeatmeten Edelgases und vor allem seiner ebenfalls eingeatmeten, an Schwebstoffen angelagerten radioaktiven Zerfallsprodukte kommt es zu einer lokalen Strahlenexposition der Bronchial- und Lungenepithelien. Hierbei wird die Exposition in überwiegendem Maße durch Alphastrahlung hervorgerufen. Der Zusammenhang zwischen Radon und Lungenkrebs wurde aber nicht nur bei den teilweise sehr hoch exponierten Bergarbeitern gefunden, sondern auch in vielen Studien zu Radon in Häusern. Zusammengefasst zeigen diese Studien, dass das Lungenkrebsrisiko annähernd linear und ohne Schwellenwert mit der Radonkonzentration in den Innenräumen ansteigt. Das Lungenkrebsrisiko

steigt um etwa 10% pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq pro m^3 Raumluft. Dies bedeutet, dass sich das Lungenkrebsrisiko je 1000 Bq pro m^3 Raumluft verdoppelt. Dies gilt sowohl für Raucher als auch für Nichtraucher.

Risikoabschätzung

Weltweit liegen zahlreiche epidemiologische Studien bei Personengruppen vor, die einer erhöhten Exposition durch ionisierende Strahlung ausgesetzt waren und bei denen Jahre und Jahrzehnte nach Bestrahlung häufiger als bei unbestrahlten Personen Leukämien oder Krebserkrankungen auftraten. Zu den bestrahlten Personengruppen gehören die Überlebenden der Atombombenexplosionen in Hiroshima und Nagasaki sowie Patientengruppen, die wegen bestimmter Erkrankungen radiologisch oder nuklearmedizinisch untersucht bzw. behandelt wurden, und beruflich strahlenexponierte Personen wie die Uranbergarbeiter oder Beschäftigte in kerntechnischen Anlagen.

Abschätzungen zum Risiko strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen beruhen auf Auswertungen dieser epidemiologischen Studien, die von nationalen und internationalen wissenschaftlichen Gremien, wie von der japanischen Radiation Effects Research Foundation (RERF), dem wissenschaftlichen Komitee über die Effekte der atomaren Strahlung der Vereinten Nationen (UNSCEAR) und auch der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) vorgenommen werden. Um das allgemeine Strahlenrisiko abschätzen zu können, müssen die Ergebnisse der epidemiologischen Untersuchungen, die nur für die untersuchten Personengruppen und die speziellen Bestrahlungssituationen gelten, unter der Annahme von Risikomodellen zur Krebsentstehung ausgewertet werden. Dabei sind insbesondere folgende Übertragungen vorzunehmen:.

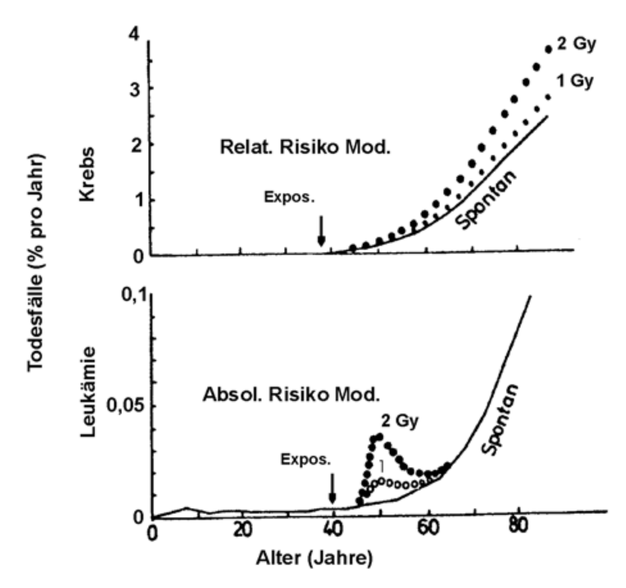
– Extrapolation von beobachtbaren Risiken im mittleren bis hohen Dosisbereich der Studien (z.B. bei Atombomben-Überlebenden) auf den Bereich niedriger Dosen sowie von akuten Bestrahlungssituationen (wiederum etwa bei den Atombomben-Überlebenden) auf chronische Expositionen, wie sie z.B. bei beruflich strahlenexponierten Personen vorkommen.
– Projektion des Risikos von der nur begrenzten, durch die Studie bedingten Beobachtungszeit auf die Lebenszeit der bestrahlten Personen.
– Transfer der Risikoabschätzungen auf verschiedene Bevölkerungsgruppen mit meistens unterschiedlichen natürlichen Krebsraten (z.B. von den japanischen Atombombenüberlebenden auf eine europäische Bevölkerung).

Epidemiologische Studien zeigen, dass eine statistisch signifikante und damit zahlenmäßig bestimmbare Erhöhung bösartiger Erkrankungen im Allgemeinen erst im Dosisbereich von einigen Zehntel bis einem Sievert eintritt. Hieraus kann jedoch nicht geschlossen werden, dass unterhalb dieser Dosen keine Wirkungen ionisierender Strahlung mehr auftreten würde. Vielmehr zeigt dies nur die methodische Beobachtungsgrenze epidemiologischer Untersuchungen an. Für die Extrapolation von mittleren bis zu niedrigen Dosen ist für die Häufigkeit strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis auszugehen. Diese Annahme wird durch grundsätzliche biophysikalische und strahlenbiologische Erkenntnisse gestützt. Krebserkrankungen haben nach vorliegenden Erkenntnissen ihren Ursprung in einer einzelnen geschädigten Zelle. Da eine einzelne Energiedeposition durch die Strahlung in einer Zelle (bei 10 mSv Röntgenstrahlung wird eine einzelne Zelle in der Regel von einer einzigen physikalischen Elektronenspur getroffen) zur Krebsauslösung ausreicht und zelluläre Reparaturprozesse nicht immer vollkommen sind, muss auch im Dosisbereich unterhalb von 10 mSv von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ausgegangen werden.

Für einzelne Krebsarten kann die lineare Extrapolation zwar dazu führen, dass das Risiko überschätzt wird (z.B. Osteosarkome nach Inkorporation von Alpha-Strahlern), es lässt jedoch nicht ausschließen, dass unter bestimmten Bedingungen das Risiko für andere Krebsarten auch unterschätzt wird, daher stellt unter Berücksichtigung bestehender Unsicherheiten die lineare Extrapolation das fachlich beste Abschätzverfahren dar. Für genetische Schäden muss auf Grund des gleichen Wirkmechanismus der Mutationsauslösung wie bei der Krebsinduktion ebenfalls eine lineare Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwellendosis angenommen werden. Obwohl hierfür keine direkten Beobachtungen beim Menschen vorliegen, wird diese Annahme durch tier- und zellexperimentelle Befunde gestützt.

Es gibt zwei Risikomodelle, die bei Risikoprojektionen und -transfer zu Grunde gelegt werden können: das abso-

Abbildung A-3



Schematische Darstellung der Mortalität durch Krebs und Leukämie. Die durchgezogenen Kurven geben die „spontane“ Mortalität durch diese Erkrankungen an. Die gepunkteten Kurven geben die Mortalität nach Strahlenexposition nach dem „Relativen Risikomodell“ und dem „Absoluten Risikomodell“ an.

lute und das relative Risikomodell (Abbildung A-3). Das absolute Risikomodell geht davon aus, dass die Strahlung eine bestimmte zusätzliche Zahl von Krebsfällen in Abhängigkeit von der Dosis auslöst. Beim relativen Risikomodell wird angenommen, dass der Strahlungseffekt darin besteht, dass sich die natürliche Krebshäufigkeit bei allen Altersgruppen um einen bestimmten Faktor, der dosisabhängig ist, erhöht. Da die natürliche oder spontane Krebshäufigkeit proportional mit dem Alter ansteigt, lässt sich unter der Annahme eines relativen Risikomodells infolgedessen auch im Alter eine größere Zahl strahlenbedingter Krebsfälle abschätzen. Die Risikoschätzungen nach dem relativen Modell sind daher höher als nach dem absoluten Modell.

Ausgehend von den epidemiologischen Daten für die japanischen Atombomben-Überlebenden sowie unter der Annahme eines relativen Risikomodells ergeben die Risikoabschätzungen von UNSCEAR[15] ein Lebenszeitrisiko strahlenbedingter Todesfälle für solide Tumoren von 4,9% bis 8,2% bei einer kurzzeitigen Exposition von 1 Sv. Da die Auswertung der Daten von japanischen Atombomben-Überlebenden mit einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung verträglich ist, kann dieses Risiko zu kleineren Dosen extrapoliert werden. Bei einer Exposition von 100 mSv erhöht sich das Lebenszeitrisiko deshalb um etwa 1 %, bei 10 mSv um 0,1 %. Strahlenbedingte Krebserkrankungen sind vom Krankheitsbild nicht zu unterscheiden von den sogenannten spontan entstehenden Krebserkrankungen. Im Vergleich dazu haben in Deutschland etwa 25% aller Todesfälle Krebs als Ursache, d.h. von einer Million Menschen werden etwa 250000 an einer Krebserkrankung sterben.

[15] United Nations, Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly, with 2 Scientific Annexes. Volume I

Anhang B:

Nicht ionisierende Strahlung – Definition, biophysikalische Aspekte und Wirkungsmechanismen

1. Statische Felder

Der Begriff „Statische Felder“ umfasst elektrostatische Felder, die z. B. in Gleichspannungsanlagen auftreten, und statische Magnetfelder, wie z. B. das natürliche Erdmagnetfeld.

Ein statisches elektrisches Feld übt Kräfte auf elektrische Ladungen aus und führt damit zu einer Ladungsumverteilung an der Körperoberfläche. Dadurch bewirkte Bewegungen von Körperhaaren oder Mikroentladungen treten bei elektrischen Feldstärken ab 20 kV/m auf. Unangenehme Empfindungen werden ab 25 kV/m erzeugt. Statische elektrische Felder können zu elektrischen Aufladungen von nicht geerdeten Gegenständen führen. Als indirekte Wirkung kommt es beim Berühren des Körpers mit einem solchen Gegenstand zu Ausgleichströmen. In Feldern oberhalb von 5 bis 7 kV/m können solche Phänomene Schreckreaktionen durch Funkenentladungen auslösen. Im privaten wie beruflichen Alltag sind vor allem elektrostatische Aufladungen für Funkenentladungen verantwortlich und nicht elektrische Gleichfelder von Gleichspannungsanlagen. Dies erklärt, weshalb keine Grenzwertregelungen für elektrische Gleichfelder vorliegen.

Die möglichen Wirkungsmechanismen statischer Magnetfelder sind einerseits auf Kraftwirkungen auf Teilchen und Gegenstände (z. B. metallische Implantate, die ein eigenes Magnetfeld besitzen oder magnetisierbar sind) und andererseits auf die Erzeugung elektrischer Spannungen in bewegten Körperteilchen (z. B. Blutströmung) beschränkt. An der Aorta führt dieser Mechanismus z. B. zu einer Potenzialdifferenz von bis zu 16 mV bei einem statischen Magnetfeld von 1 T. Akute Schadwirkungen einer Exposition durch statische Magnetfelder bis 2 T auf die menschliche Gesundheit lassen sich experimentell nicht nachweisen. Analysen bekannter Wechselwirkungsmechanismen lassen den Schluss zu, dass eine langfristige Exposition mit Magnetflussdichten von bis zu 200 mT keine schädlichen Folgen für die Gesundheit hat.

Quellen statischer Felder sind z. B. Gleichspannungsanlagen, elektrifizierte Verkehrssysteme, die mit Gleichstrom betrieben werden (z. B. Straßenbahnen), Magnetschwebebahnen, Lautsprecheranlagen, Dauermagneten z. B. an Namensschildern, und auch die sog. „Magnetheilmittel“ wie Magnetpflaster, Magnetkissen, -decken, -bänder oder -gürtel.

Die Wahrnehmung statischer Magnetfelder durch manche Tiere spielt für ihre Orientierung eine große Rolle. Sie tritt bei Feldstärken in der Größenordnung des geomagnetischen Feldes (im Mittel 40 µT) auf. Für den Menschen konnte ein derartiger Mechanismus bisher nicht nachgewiesen werden.

In der bildgebenden medizinischen Diagnostik wird das magnetische Resonanzverfahren (Magnetresonanztomographie – MRT, englisch „nuclear magnetic resonance“ – NMR) angewendet. Neben medizinisch-diagnostischen Aspekten liegt der Vorteil der MRT in der Vermeidung ionisierender Strahlung. Hierbei ist der Patient statischen und zeitlich veränderlichen Magnetfeldern sowie hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Es sind keine Schwellen zu einer gesundheitlichen Schädigung durch statische Magnetfelder bekannt. Nach heutigem wissenschaftlichen Erkenntnisstand gelten die von der SSK empfohlenen Richtwerte für statische Magnetfelder als sicher[16] SSK, Heft 36, „Empfehlungen zur sicheren Anwendung magnetischer Resonanzverfahren in der medizinischen Diagnostik“). Die empfohlenen Richtwerte zur Begrenzung der Exposition liegen bei magnetischen Flussdichten von 2 T für den Kopf und/oder Rumpf und von 5 T für Extremitäten.

2. Niederfrequente Felder

Der Bereich der niederfrequenten Felder umfasst elektrische und magnetische Wechselfelder mit Frequenzen von 1 Hz bis 100 kHz. Die elektrische Feldstärke an der Körperoberfläche bewirkt eine mit der Frequenz wechselnde Aufladung der relativ hochohmigen Körperbehaarung. Dadurch wird eine Vibration des Haarschaftes angeregt, die über die Berührungsrezeptoren in der Haut registriert wird. Im Wesentlichen führen niederfrequente elektrische Felder zu elektrischen Strömen an der Körperoberfläche, was bei hohen Feldstärken zu einer direkten Stimulation von peripheren Rezeptoren in der Haut führen kann. Zudem treten starke Feldüberhöhungen an der Körperoberfläche vor allem im Kopfbereich auf. Durch elektrische Ausgleichsvorgänge zwischen Kleidung und Haut kann ein wahrnehmbares Kribbeln auftreten. Wirken magnetische Felder auf den Menschen ein, kommt es im Organismus zur Induktion von Wirbelströmen, die bei Überschreitung bestimmter Schwellenwerte Nerven- und Muskelzellen erregen können. In Tabelle B 2-1 sind die wichtigsten Messgrößen für niederfrequente elektrische und magnetische Felder aufgeführt.

[16] Empfehlungen der Strahlenschutzkommission, Empfehlungen zur sicheren Anwendung magnetischer Resonanzverfahren in der medizinischen Diagnostik, Heft 36, Bonn, 2003

Tabelle B 2-1

Physikalische Größen für niederfrequente elektrische und magnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	**E**	**V/m** (Volt pro Meter)	
Magnetische Feldstärke	**H**	**A/m** (Ampere pro Meter)	
Magnetische Flussdichte	**B**	**Vs/m²** (Voltsekunde pro Quadratmeter); **T** (Tesla) 1 Vs/m² = 1 T gebräuchlich: 1 µT - veraltet: G (Gauss)	$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$ für Luft und organische Materialien: B (µT) = 1,256 · H (A/m) 1 G = 10^{-4} T = 100 µT

Im Alltag ergibt sich die Exposition der Bevölkerung im niederfrequenten Bereich hauptsächlich aus den elektrischen und magnetischen Feldern, die durch die Stromversorgung (50 Hz) und elektrifizierte Verkehrssysteme wie Eisenbahnen (16 $^{2}/_{3}$ Hz) entstehen.

In der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetisches Felder – 26. BImSchV; gültig seit 1. Januar 1997), sind die Grenzwerte für ortsfeste Niederfrequenzanlagen geregelt (s. Tabelle B 2-2) Die Grenzwertempfehlungen von ICNIRP wurden 2009 angepasst[17].

Tabelle B 2-2

Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen (26. BImSchV)

Frequenzbereich	elektrische Feldstärke (kV/m)	magnetische Flussdichte (µT)
16 2/3 Hz	10	300
50 Hz	5	100

Danach ist bei 50 Hz-Feldern der Wert der magnetischen Flussdichte auf 100 µT begrenzt. Grundlage ist die Begrenzung der induzierten Stromdichte im Körper. Nach einer wissenschaftlichen Bewertung der WHO treten ab etwa 10 mA/m^2 Wirkungen auf das Auge (Magnetophosphene) und möglicherweise geringfügige Einflüsse auf neuronale Zellverbände auf. Gesundheitliche Gefahren niederfrequenter Felder sind erst bei einer Stromdichte von über 100 mA/m^2 zu erwarten.

3. Hochfrequente Felder

Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Funk oder Fernsehen verwendet werden. In der 26. BImSchV sind Grenzwerte (s. Tabelle B 3-1) für gewerblich genutzte ortsfeste Sendefunkanlagen mit einer äquivalent isotropen Sendeleistung von 10 Watt und mehr im Frequenzbereich von 10 Megahertz (MHz) bis 300 Gigahertz (GHz, entspricht 300 000 MHz) festgelegt worden.

Tabelle B 3-1

Grenzwerte der 26. BImSchV für feststehende Hochfrequenzanlagen

Frequenzbereich	elektrische Feldstärke (V/m)	magnetische Feldstärke (A/m)
10 – 400 MHz	27,5	0,073
400 MHz –2 GHz	$1{,}375\sqrt{f}$ *	$0{,}0037\sqrt{f}$ *
2 – 300 GHz	61	0,16

*f = Frequenz in MHz

Diese Felder dringen, abhängig von der Frequenz, unterschiedlich tief in das Gewebe ein und verursachen ab einem bestimmten Schwellenwert oberhalb der festgelegten Grenzwerte eine Erwärmung (thermischer Effekt). Dies wird in der Medizin z.B. bei der Kurzwellenerwärmung zu Therapiezwecken genutzt. Bei der bereits erwähnten medizinischen Diagnosemethode MRT werden hochfrequente Felder zur Anregung des Kern-Spin-Systems benötigt. Derzeit werden bei der Diagnosemethode MRT in der klinischen Praxis Hochfrequenzfelder mit 10 MHz bis 85 MHz eingesetzt. Die Abstrahlung dieser Felder erfolgt gepulst. In der nachfolgenden Tabelle B 3-2 sind die wichtigsten Messgrößen für hochfrequente elektromagnetische Felder aufgeführt.

Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist die Gewebeerwärmung. Erst bei einer Erhöhung der Körpertemperatur um deutlich mehr als ein Grad konnten in wissenschaftlichen Untersuchungen gesundheitlich bedeutende Beeinträchtigungen beobachtet werden.

Die Absorption von Energie im Gewebe auf Grund der Hochfrequenzstrahlung wird durch die spezifische Absorptionsrate (SAR) beschrieben. Sie gibt an, welche Leistung pro Kilogramm Körpergewebe (W/kg) aufgenommen wird und bestimmt die Temperaturerhöhung. International wird eine Begrenzung der Belastung der Bevölkerung auf max. 0,08 W/kg, gemittelt über den ganzen Körper, empfohlen. Beim Telefonieren mit Handys wird vor allem der Kopf den Hochfrequenzfeldern ausgesetzt. Da bei einer solchen Teilkörperexposition hohe lokale Werte der SAR auftreten können, während die SAR für den gesamten Körper kaum erhöht ist, wurden zusätzlich Teilkörpergrenzwerte festgelegt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass vor allem die Blutzirkulation einen raschen Temperaturausgleich bewirkt, beträgt der empfohlene Teilkörpergrenzwert für den Kopf 2 W/kg (gemittelt über 10 g Gewebe und 6 min). Bei Einhaltung dieser Grenzwerte sind nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand keine gesundheitlichen Gefahren zu erwarten.

Die elektromagnetischen Felder, die beim Telefonieren mit Handys auftreten, sind im Allgemeinen sehr viel stärker als die Felder, denen man z.B. durch benachbarte Mobilfunkbasisstationen ausgesetzt ist. Daher hält es das BfS für besonders wichtig, die Felder, denen die Nutzer von Handys ausgesetzt sind, so gering wie möglich zu halten und empfiehlt:

- In Situationen, in denen genauso gut mit einem Festnetztelefon wie mit einem Handy telefoniert werden kann, sollte das Festnetztelefon genutzt werden.
- Telefonate per Handy sollten kurz gehalten werden.
- Möglichst nicht bei schlechtem Empfang, z.B. aus Autos ohne Außenantenne, telefonieren. Die Leistung mit der das Handy sendet, richtet sich nach der Güte der Verbindung zur nächsten Basisstation.
- Verwendung von Handys, bei denen der Kopf möglichst geringen Feldern ausgesetzt ist. Die entsprechende Angabe dafür ist der SAR-Wert (Spezifische Absorptions Rate).
- Die Nutzung von Head-Sets: Die Intensität der Felder nimmt mit der Entfernung von der Antenne schnell ab.

[17] veröffentlicht in: Health Physics 96(4): 504-514, 2009

Tabelle B 3-2

Physikalische Größen für hochfrequente elektromagnetische Felder			
Elektrische Feldstärke Magnetische Feldstärke	**E** **H**	**V/m** (Volt pro Meter) **A/m** (Ampere pro Meter)	$E = Z_0 \cdot H$ Dabei ist Z_0 der Feldwellenwiderstand des leeren Raumes mit 376,7 Ω (Ohm) = 376,7 V/A
Leistungsflussdichte	**S**	**W/m²** (Watt pro Quadratmeter)	$S = E \cdot H = Z_0 \cdot H^2 = E^2/Z_0$ (gilt im Fernfeld)
Spezifische Absorptionsrate	**SAR**	**W/kg** (Watt pro Kilogramm) gemittelt über 6 min Einwirkdauer und 10 g Gewebe	

Durch die Verwendung von Head-Sets wird der Abstand zwischen Kopf und Antenne stark vergrößert.

– Beim Verbindungsaufbau sendet ein Handy im GSM-Standard mit erhöhter Leistung. Dies hat einen kurzfristig erhöhten Eintrag von Energie in den Kopf zur Folge. Dieser Energieeintrag kann vermieden werden, indem Telefonate nicht mit dem Handy am Ohr entgegengenommen werden bzw. das Handy erst nach Verbindungsaufbau ans Ohr geführt wird.

Ganz besonders gelten diese Empfehlungen für Kinder, da diese sich noch in der Entwicklung befinden und deshalb gesundheitlich empfindlicher reagieren könnten. Mit den oben aufgeführten Empfehlungen lässt sich die persönliche Strahlenbelastung einfach und effizient minimieren, ohne auf die Vorteile eines Handys verzichten zu müssen.

4. Optische Strahlung

Zum Bereich der optischen Strahlung gehören neben dem sichtaren Licht die biologisch hochwirksame ultraviolette (UV-)Strahlung sowie die Infrarot(IR)-Strahlung. Die UV-Strahlung gliedert sich in den UV-A- (320–400 nm), UV-B- (280–320 nm) und UV-C- (200–280 nm) Anteil auf. Die IR-Strahlung wird unterteilt in die kurzwellige IR-A-Strahlung mit einem Wellenlängenbereich von 780 bis 1400 nm, die IR-B-Strahlung (1400 bis 3000 nm) und den langwelligen Teilbereich, die IR-C-Strahlung, (3000 nm bis 1 mm).

Wirkungen von UV-Strahlung auf die Umwelt

Die Sonne ist die wichtigste UV-Strahlenquelle. Ihre UV-Intensität in Bodennähe ist ausreichend hoch, um einen großen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen, sowie auf terrestrische und aquatische Ökosysteme auszuüben. Eine erwartete Verringerung des Gesamtozongehaltes würde diesen Einfluss weiter erhöhen. Bei einer Erhöhung der UV-Strahlung ist mit Schäden an terrestrischen Ökosystemen zu rechnen. Während sich ein im Wasser lebender Organismus durch seine Beweglichkeit und der Mensch durch bewusst angepasstes Verhalten vor den Folgen erhöhter UV-Strahlung schützen kann, ist dies für ortsfeste Landpflanzen nicht möglich. Dies erfordert auch Aufmerksamkeit für die Fragen nach den möglichen pflanzlichen Reaktionen auf UV-Strahlung. Aus diesem Grund ist die bodennahe solare UV-Strahlung ein weiterer wichtiger Umweltparameter geworden, der ständig erfasst und gesundheitlich sowie ökologisch bewertet werden muss.

Wirkungen von UV-Strahlung auf den Menschen

UV-Strahlung wirkt auf den gesamten Körper ein. Neben dem positiven Aspekt der Vitamin-D_3-Synthese induziert durch UV-B-Strahlung, verursacht UV-Strahlung akute sowie chronische Wirkungen an Augen und Haut. Eine den ganzen Körper betreffende Wirkung ist die Schwächung unseres Immunsystems. Dadurch wird dessen Fähigkeit gemindert, sich gegen Infektionen oder auch gegen Krebserkrankungen zu wehren.

Auf bereits erfolgte Schädigungen reagiert unsere Haut mit Schutzmechanismen. Unter dem Einfluss von UV-A- und UV-B-Strahlung lagert sich Pigment (Melanin) in die Hautzellen ein zum Schutz vor allem der im Zellkern enthaltenen Erbinformationen (Bräunung) und es bildet sich eine so genannte Lichtschwiele (Verdickung der Hornhaut).

Akute Wirkungen

Bei übermäßiger UV-Bestrahlung können akute Wirkungen an Augen und Haut hervorgerufen werden. Akute Wirkungen des kurzwelligen UV-Anteils umfassen vor allem Erytheme (Sonnenbrand) der Haut und Photokeratitis (lichtinduzierte Hornhautentzündung) des Auges.

Die entzündliche Hautrötung eines Sonnenbrandes wird durch fotochemische Prozesse hervorgerufen, die mit der Entstehung von Zellgiften verbunden sind. Auf Grund einer gefäßerweiternden Reaktion erhöht sich die Hautdurchblutung und die Haut schwillt an. Es kommt zu Juckreiz und zur Schmerzempfindung. Die erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem) wird als minimale erythematogene Dosis (MED) bezeichnet. Sie beträgt etwa 250 J/m^2 für den empfindlichen Hauttyp II. Nach Ausbildung des UV-Eigenschutzes (Pigmentierung und Hornschichtverdickung) erhöht sich die aktuelle MED.

Der langwellige solare UV-Anteil initiiert vorwiegend fototoxische und fotoallergische Prozesse, die über körpereigene oder -fremde Stoffe die Strahlenempfindlichkeit der Haut erhöhen, wie z.B. bestimmte Medikamente

und Kosmetika. Eine kleine Übersicht über gebräuchliche Substanzen gibt Tabelle B 4-1. .

Tabelle B 4-1

Medikamente und chemische Stoffe, die Lichtempfindlichkeit auslösen können

Substanz	Anwendungsform
Antiseptika	Seifen
Blankophore	Waschmittel
Chloroquin	Antimalariamittel / Antirheumatika
Chlorothiazide	Diuretika (harntreibende Mittel)
Sulfonamide	Antibiotika / Chemotherapeutika
Tetracyclin	Antibiotika
Triacetyldiphenylisatin	Abführmittel

Fototoxische Reaktionen können klinisch gewöhnlich als erythemähnliche Reaktionen charakterisiert werden, fotoallergische Reaktionen treten auf, wenn bestimmte, durch UV-Strahlung aktivierte und umgewandelte Stoffe Allergencharakter annehmen. Unter entsprechenden Bedingungen können fototoxische Reaktionen bei jedem Menschen, fotoallergische bei einigen exponierten Personen hervorgerufen werden. Letztere sind mit Schwellungen, Nässen oder Blasenbildung an den exponierten Hautpartien verbunden.

Chronische Wirkungen

Zu den chronischen Wirkungen zählen die Katarakt (Linsentrübung) des Auges, frühzeitige Hautalterung und der Hautkrebs. Bei zu häufigen UV-Expositionen verliert die Haut ihre Elastizität und wird dünner. Es kommt vornehmlich zu Pigmentverschiebungen, Austrocknung, Faltenbildung und Bindegewebsschädigung. UV-A-Strahlung trägt besonders zu dieser vorzeitigen Hautalterung bei.

Die weitaus schwerwiegendste Folge übermäßiger UV-Exposition ist die Bildung von Hautkrebs, der weltweit zu den am häufigsten auftretenden Krebsarten zählt. Nach aktuellen Hochrechnungen des Krebsregisters Schleswig-Holstein und der "Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e. V." (GEKID) auf Basis der dokumentierten Hautkrebs-Inzidenz im Jahr 2007 erkranken in Deutschland jährlich etwa 195 000 Menschen neu an Hautkrebs, darunter rund 24 000 Menschen am dem bösartig verlaufenden „schwarzen Hautkrebs“ – dem „malignen Melanom“. In den letzten 30 Jahren hat sich die Zahl der Neuerkrankungen am malignen Melanom verdreifacht. Am malignen Melanom versterben pro Jahr in Deutschland über 2 500 Menschen. Als wesentliche Ursachen für den starken Anstieg werden das geänderte Freizeitverhalten mit zunehmendem Aufenthalt im Freien und die Nutzung der künstlichen UV-Strahlung im Solarium verantwortlich gemacht. Als Risikofaktor gilt generell die Zugehörigkeit zu Hauttyp I und II (Tabelle B 4-2).

Über 90 % der bösartigen Neubildungen der Haut sind epidermalen Ursprungs (Epidermis: äußerste Zellschicht der Haut). Bei den Basalzell- und Plattenepithelkarzino-

Tabelle B 4-2

Die sechs Hauttypen*)

Hauttyp I	sehr helle Haut, Sommersprossen, extrem empfindliche Haut, helle Augen, rotblondes Haar, keine Bräunung, meistens Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 10 Minuten
Hauttyp II	helle Haut, oft Sommersprossen, empfindliche Haut, helle Augen, helles Haar, langsame Bräunung, oft Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 20 Minuten
Hauttyp III	mittelhelle Haut, helle oder dunkle Augen, braunes Haar, einfache und langsame Bräunung, manchmal Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 30 Minuten.
Hauttyp IV	bräunliche, wenig, empfindliche Haut, dunkle Augen, dunkelbraunes oder schwarzes Haar, schnelle und tiefe Bräunung, selten Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 45 Minuten
Hauttyp V	dunkle, wenig empfindliche Haut, dunkle Augen, schwarzes Haar, selten Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 60 Minuten
Hauttyp VI	schwarze, wenig empfindliche Haut, dunkle Augen, schwarzes Haar, sehr selten Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 90 Minuten

*) www.who.int/uv/faq/skincancer/en/index2.html

men konnte ein direkter Zusammenhang zwischen UV-Bestrahlung und Hautkrebsinzidenz beobachtet werden. Beim Basalzellkarzinom handelt es sich um einen langsam wachsenden, lokal Gewebe zerstörenden Tumor ohne Metastasenbildung. Er tritt vorwiegend in exponierten Hautpartien wie Gesicht, Ohren und Kopfhaut auf. Obwohl die Sterblichkeit sehr niedrig ist, stellt die Therapie häufig ein großes kosmetisches Problem dar. Das Plattenepithelkarzinom ist ein invasiver, lokal zerstörend wirkender Tumor, der ab einer bestimmten Größe auch Metastasen bilden und zum Tode führen kann. Er tritt ebenfalls an exponierten Hautpartien wie Gesicht, Handrücken und Unterarme auf. Als weitere Risikofaktoren kommen verstärkte Sonnenexpositionen und Vorhandensein von aktinischen Keratosen (durch chronische Sonnenbestrahlung hervorgerufene rötlich-braune, schuppige Hautverhornungen) hinzu.

Beim malignen Melanom (schwarzer Hautkrebs) ist die Situation nicht so eindeutig. Obwohl Melanome nicht bevorzugt in UV-exponierten Hautarealen auftreten und in der Häufigkeit nicht direkt mit der kumulativen UV-Dosis korrelieren, sprechen epidemiologische Daten für einen wesentlichen UV-Einfluss auch bei der Verursachung dieser Erkrankung. Das maligne Melanom ist ein unterschiedlich wachsender, in der Regel braungefärbter Tumor, der Metastasen bildet und an beliebigen Hautpartien auftreten kann. Bei Früherkennung ist der Tumor überwiegend heilbar, bei verzögerter Therapie oft tödlich. Die Sterberate liegt bei ca. 20 %. Als weitere Risikofaktoren kommen häufige Sonnenbrände in Kindheit und Jugend,

eine hohe Anzahl (über 40 – 50) Pigmentmale (Muttermale) und die Nutzung von Solarien vor dem 30. Lebensjahr hinzu.

UV-Monitoring

Der globale solare UV-Index ist ein Maß für die am Boden vorliegende sonnenbrandwirksame UV-Strahlung. Die Ermittlung des UVI kann durch Modellberechnungen oder Messungen erfolgen.

Im Jahr 1993 haben das Bundesamt für Strahlenschutz und das Umweltbundesamt den Betrieb an den 4 Stationen des UV-Messnetzes in Zingst (Ostseeküste), Langen (Rheingraben bei Frankfurt), Schauinsland (Südschwarzwald) und Neuherberg (Stadtrand von München) aufgenommen. In den Folgejahren wurde das Messnetz zusammen mit dem DWD und weiteren assoziierten Institutionen zu einem bundesweiten UV-Messnetz ausgebaut. Assoziierte Institutionen sind die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Dortmund, die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel mit der Forschungsstation in Westerland/Sylt, der DWD mit dem Observatorium Lindenberg, das Bayerische Landesamt für Umweltschutz mit der Messstation in Kulmbach und die Niedersächsische Gewerbeaufsicht mit den Messstationen in Rinteln und auf der Insel Norderney.

Bei der Auswahl der Messstationen wurden insbesondere die in Deutschland vorhandenen Unterschiede hinsichtlich der Breitengrade, der Höhenlagen, des Klimas und der Lufttrübung berücksichtigt.

In München befindet sich die Messnetzzentrale, die zusätzlich zum UV-Monitoring in einem eigenen UV–Kalibrierlabor die Qualitätssicherung durchführt und die gesundheitliche Bewertung und Speicherung der gesamten Messdaten übernimmt.

Die solare UV-Strahlung wird mit qualitativ hochwertigen Geräten im Wellenlängenbereich von 290 bis 400 nm gemessen, d.h. sowohl im UV-B- als auch im UV-A-Bereich. Auf Grund der geringen Zeitintervalle zwischen aufeinander folgenden Messungen von 6 Minuten können auch kurzzeitige Veränderungen der UV-Strahlung, z.B. an wechselhaft bewölkten Tagen ausreichend genau erfasst werden. Die Gesamtglobalstrahlung (UV bis Infrarot) wird mit einem Pyranometer zusätzlich erfasst.

Für die tägliche Berichterstattung in den Sommermonaten ruft die Messzentrale jeweils um die Mittagszeit aktuelle UV-Daten von allen Stationen ab und stellt sie zusammen mit Daten des Deutschen Wetterdienstes der Öffentlichkeit als UV-Index zur Verfügung: www.bfs.de/de/uv/uv2/uv_messnetz/uvi/messnetz.html

Die kompletten Datensätze werden am Ende eines jeden Tages abgerufen, auf Plausibilität geprüft, strahlenhygienisch bewertet, für die weitere Öffentlichkeitsarbeit aufbereitet und anschließend im Zentralrechner gespeichert. Jedes Jahr werden die UV-Daten in Form von Jahresberichten im Internet veröffentlicht (www.bfs.de/de/uv/uv2/uv_messnetz/UV_jb.html).

Von April bis September werden darüber hinaus für die 10 Vorhersagegebiete in Deutschland 3-Tages-UV-Vorhersagen erstellt und öffentlich zugänglich gemacht: www.bfs.de/de/www/uv/uv2/uv_messnetz/uvi/prognose.html

An unbewölkten Tagen ist die UV-Belastung zur Mittagszeit am höchsten. In Deutschland ist der UVI im Winter am kleinsten (<1) und erreicht im Sommer im süddeutschen Raum Werte von 8 bis 9.

Der UVI hängt vor allem vom Sonnenstand ab. Er ändert sich daher am stärksten mit der Jahreszeit und der geografischen Breite. Weitere Einflussparameter sind das Gesamtozon, die Bewölkung, die Aerosolbelastung, Reflexionen an Sand und Schnee und die Höhenlage eines Ortes.

Je höher der UVI ist, desto höher ist das Sonnenbrandrisiko. Die Zeit zum Erreichen eines Sonnenbrandes ist für verschiedene Hauttypen unterschiedlich. Man unterscheidet sechs Hauttypen, die in Tabelle B 4-2 aufgeführt sind.

Menschen mit empfindlichem Hauttyp I erreichen bei hohem UVI die Sonnenbrandschwelle etwa in der halben Zeit wie Personen mit Hauttyp II. Bei Hauttyp III und IV kann von rund der doppelten Zeit bis zum Erreichen der Sonnenbrandschwelle ausgegangen werden, wenn die Haut nicht vorgebräunt ist.

In Tabelle B 4-3 sind die UVI- Schutzschemata aufgeführt, die von der WHO, dem WMO und der ICNIRP veröffentlicht worden sind. Die Schutzhinweise gelten für den empfindlichen Hauttyp II bei ungebräunter Haut.

Solarien

Solarien und Heimsonnen sind UV-Bestrahlungsgeräte, die für kosmetische Zwecke genutzt werden (z.B. Bräunung der Haut). Ein Solarium besteht aus einer künstlichen UV-Strahlenquelle, optischen Komponenten, wie Filter und Reflektoren und einem mechanischen Aufbau mit festgelegter Nutzfläche. Entscheidende Bewertungsgröße eines Solariums ist die erythemwirksame Bestrahlungsstärke E_{er} auf der Nutzfläche. Mittels dieser nach DIN genormten Messgröße werden die Solarien klassifiziert.

Bei der Nutzung von Solarien können akute und chronische Strahlenwirkungen auftreten, wie sie von der natürlichen Sonnenbestrahlung her bekannt sind. Dabei spielt der Hauttyp eine entscheidende Rolle.

Zum Schutz der Verbraucher vor den gesundheitsschädlichen Wirkungen der UV-Strahlung ist seit 2009 gesetzlich vorgegeben, dass Solarienbetreiber Minderjährige die Nutzung von Solarien nicht gestatten dürfen. Das Gesetz bildet die Ermächtigungsgrundlage zum Erlass einer Rechtsverordnung für Solarien. Diese baut auf den Kriterien, die durch den Runden Tisch Solarien (RTS) für ein freiwilliges Zertifizierungsverfahren für Solarien erarbeitet wurden, auf.

Infrarotstrahlung

Natürliche IR-Strahlungsquellen sind die Sonne und das Feuer. Der infrarote Anteil der den Erdboden erreichenden Sonnenstrahlung beträgt knapp 50%. Außerdem gibt die durch die Sonneneinstrahlung erwärmte Erde IR-

Strahlung ab. Die meisten künstlichen IR-Strahlungsquellen sind thermische Strahler, die 1000°C und mehr erreichen können. Industriell werden Infrarotöfen z.B. für Trocknungsprozesse oder zur Kunstharz-Polymerisierung verwendet. Die üblichen Bestrahlungsstärken liegen dabei im Bereich von 1-8 kW/m^2. In der Medizin aber auch im Wellnessbereich, werden zur Wärmebehandlung des menschlichen Körpers IR-Bestrahlungslampen z.B. in Infrarot-Wärmekabinen eingesetzt. Die Glühwendeltemperaturen dieser Lampen liegen bei ca. 2000°C, die Bestrahlungsstärken liegen im Bereich von 100-300 W/m^2.

Infrarotstrahlung mit relativ niedriger Intensität wird als angenehm empfunden. Bei höheren Intensitäten ist sie jedoch mit gesundheitlichen Gefahren (z.B. Augenschäden und Verbrennungen) verbunden, vor denen man sich schützen muss. In begrenztem Umfang stellen die körpereigenen Thermo- und Schmerzrezeptoren natürliche Schutzmechanismen dar.

IR-Strahlung wird überwiegend an der Körperoberfläche absorbiert. Von der IR-Strahlung sind somit zunächst Auge und Haut betroffen. Durch Wärmeleitung kann aber auch eine Erwärmung tiefer gelegener Körperorgane erfolgen.

Wirkung der Infrarotstrahlung auf das Auge

Der vordere Teil des Auges ist besonders für den kurzwelligen IR-Anteil (IR-A) durchlässig. Es können unmittelbar Netzhautschädigungen erfolgen. Bei chronischer Bestrahlung mit starken IR-Quellen kann die Linse getrübt werden (z.B. „Glasbläserstar“). Eine Bestrahlung der Haut kann bei ausreichend hohen Bestrahlungsstärken bereits nach sehr kurzer Zeit zu Verbrennungen führen. Bei niedrigeren Bestrahlungsstärken schützen davor im Allgemeinen die natürlichen Abwehr- und Schmerzreaktionen.

Wirkung der Infrarotstrahlung auf den Gesamtorganismus

Häufigste Ursache für gesundheitliche Schäden durch IR-Strahlung im Alltag ist eine zu lange und intensive Sonnenbestrahlung. Hohe thermische Belastungen z.B. durch IR-Bestrahlung können zu Störungen im Wärmehaushalt des Gesamtorganismus führen. Steigt die Temperatur im Körperinneren (Kerntemperatur) auf ca. 40°C, kommt es durch die Erweiterung oberflächennaher Blutgefäße zu einem Blutdruckabfall mit Mangeldurchblutung des Gehirns und Bewusstlosigkeit (Hitzekollaps). Die gefährlichste Wirkung von IR-Strahlung ist der Hitzschlag. Dabei führt ein Anstieg der Kerntemperatur auf über 41°C zu einem Kreislaufkollaps. Auf Grund der hohen Temperatur können dabei alle Organe thermisch geschädigt werden.

Tabelle B 4-3

Empfohlenes UVI-Schutzschema der WHO/WMO/ICNIRP mit Zeiten zum Erreichen eines Erythems (Hauttyp II)

UVI	Klassifikation	Zeit zum Erreichen eines Erythems	Schutz	Schutzmaßnahmen
>10	extrem		extra Schutz	Mittags im Innenraum, unbedingt Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion
10	sehr hoch		extra Schutz	Mittags im Innenraum, unbedingt Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion
9	sehr hoch	< 20 min.	extra Schutz	Mittags im Innenraum, unbedingt Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion
8	sehr hoch	< 20 min.	extra Schutz	Mittags im Innenraum, unbedingt Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion
7	hoch	ab 20 min	erforderlich	Mittags Schatten, Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion
6	hoch	ab 20 min	erforderlich	Mittags Schatten, Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion
5	moderat	ab 20 min	erforderlich	Mittags Schatten, Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion
4	moderat	ab 30 min	erforderlich	Mittags Schatten, Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion
3	moderat	ab 30 min	erforderlich	Mittags Schatten, Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion
0–2	niedrig	ab 30 min	nicht erforderlich	

Anhang C:

Verwendete Abkürzungen

ÄS	Ärztliche und zahnärztliche Stellen
AVR	Atomversuchsreaktor (Jülich)
BDBOS	Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
BEMFV	Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder vom 20. August 2002 (BGBl 1, S. 3366), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl 1, Seite 1970)
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGBl	Bundesgesetzblatt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMG	Bundesministerium für Gesundheit
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschuz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BNetzA	Bundesnetzagentur
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
Bq	Becquerel
Bq/m^3	Becquerel pro Kubikmeter
DMF	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm
DNS	Desoxyribonukleinsäure – Bestandteil der Zellkerne aller pflanzlichen, tierischen und menschlichen Organismen
DRW	Diagnostische Referenzwerte
DWD	Deutscher Wetterdienst
EMF	Elektromagnetische Felder
EURATOM	Europäische Atomgemeinschaft
EUREF	European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services
FM	Feuchtmasse
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
Gy	Gray SI-Einheit der Energiedosis. 1 Gray (Gy) = 1 Joule pro Kilogramm
GSM	Globales Mobilfunksystem
HF	Abkürzung für die Ausdrücke „Hochfrequenz“, „hochfrequente“
Hz	Hertz
IARC	International Agency for Research on Cancer (Internationale Agentur für Krebsforschung)

ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Internationale Komission zum Schutz vor nicht ionisierender Strahlung)
ICRP	International Commission on Radiological Protection (Internationale Strahlenschutzkommission)
IMIS	Integriertes Mess- und Informationssystem
IR	Infrarote Strahlung
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LET	Linearer Datentransfer
LTE	Long Term Evolution LTE ist der Nachfolger von UMTS. Die Technik hat in Tests bereits 170 MBit/s im Downstream und 50 MBit/s im Upstream erreicht.
MED	Minimale erythematogene Dosis Erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem)
mSv	Millisievert
MRT	Magnetresonanztomographie (Kernspintomographie)
NIR	Englisch „non ionizing radiation“ – Nicht ionisierende Strahlung
nSv	Nanosievert
PAS	Public Available Specification
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
REI	Richtline zur Emissions- und Immissionüberwachung kerntechnischer Anlagen (Gemeinsames Ministerialblatt vom 23. März 2006, Nr. 14-17, S. 253)
RöV	Röntgenverordnung vom 21. Juni 2002 (BGBl. I S. 1869), zuletzt geändert am 30. April 2003 (BGBl. I, S. 604)
RTS	Runder Tisch Solarien
SAR	Spezifische Absorptionsrate
SSK	Strahlenschutzkommission
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
StrVG	Strahlenschutzvorsorgegesetz
Sv	Sievert
TBL	Transportbehälterlager
TM	Trockenmasse
UBA	Umweltbundesamt
UFOPLAN	Umweltforschungsplan des BMU zur Gewinnung von Entscheidungshilfen und sachgerechter Erfüllung der Fachaufgaben
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System Mobilfunkstandard der dritten Generation (3G)
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung)
UV	Ultraviolette Strahlung

UVI, UV-Index	Maß für sonnenbrandwirksame solare Strahlung Der UV-Index beschreibt den am Boden erwarteten bzw. gemessenen Wert der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung und dient der Information der Bevölkerung über die Gefahren der solaren UV-Strahlung
WBA	Wasserbehandlungsanlage
WMO	World Meteorological Organization (Welt-Organisation Metereologie)

Erläuterung wichtiger Fachausdrücke

Absorption	Schwächung der Intensität einer Teilchen- oder Wellenstrahlung beim Durchgang durch Materie. Die Energie der Strahlung wird dabei in eine andere Energieform (z.B. Wärme) umgewandelt. Die von biologischen Geweben absorbierte Energie ist Grundlage für die Berechnung der von Organismen aufgenommenen Dosis
Aerosol	Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen
Aktivität (Radioaktivität)	Die Aktivität ist das Maß für die Anzahl der Zerfälle eines Radionuklids oder mehrerer Radionuklide pro Zeiteinheit (i.A. Sekunde). Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die alleinige Angabe der Aktivität ohne Kenntnis des Radionuklids lässt keine Aussage über die Strahlenexposition zu
AKR-Mäuse	Labormäuse, die bereits eine Veranlagung zur Ausbildung von Leukämie besitzen. Es handelt sich um ein anerkanntes Tiermodell für menschliche Leukämien, das in der Krebsforschung eingesetzt wird
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
Angiographie	Darstellung der Blutgefäße
Äquivalentdosis	Produkt aus der Energiedosis (absorbierte Dosis) im ICRU-Weichteilgewebe und dem Qualitätsfaktor der Veröffentlichung Nr. 51 der International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU report 51, ICRU Publications, Bethesda, U.S.A.). Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge. Die Äquivalentdosis ist eine Messgröße. Sie wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. 1 µSv = Mikrosievert ist der millionste Teil des Sievert. 1 mSv = Millisievert ist der tausendste Teil des Sievert.
Athermische Effekte (auch nicht-thermische Effekte)	Eine Reihe verschiedener Effekte bei Einwirkung elektromagnetischer Felder, die unabhängig von einer Erwärmung des Gewebes auftreten
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2{,}7 \cdot 10^{-11}$ Curie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandten Elektronen besteht. Die Energieverteilung der Betateilchen ist kontinuierlich (Betaspektrum) und besitzt eine scharfe obere Grenze (sog. Endenergie)
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre
Biologische Effekte	Einflüsse auf lebendes Material (Organismen, Gewebe, Zellen)
Blut-Hirn-Schranke	Die Blut-Hirn-Schranke ist eine selektiv durchlässige Barriere zwischen Blut und Hirnsubstanz. Durch sie wird der Stoffaustausch zwischen Blut und Zentralnervensystem aktiv kontrolliert. Sie hält schädliche Stoffe von den Nervenzellen fern. Die Blut-Hirn-Schranke wird von der inneren Zellschicht der kleinen Blutgefäße im Gehirn (Kapillar-Endothelzellen) und den umgebenden Hilfszellen, den Astrozyten, gebildet
BOS-Netz	Mobilfunknetz der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
Brachytherapie	Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper des Patienten aufgelegte Strahlenquellen (s.a. Teletherapie)
Computertomographie (CT)	Röntgenuntersuchung mit relativ hoher Strahlenexposition aber sehr hoher Aussagekraft durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung radioaktiver Verunreinigungen

Deterministisch	Deterministische Strahlenschäden sind dadurch gekennzeichnet, dass die Schwere des Schadens mit der Dosis zunimmt und in der Regel ein Schwellenwert besteht, ab dem ein Schaden auftritt (z.B. Hautrötung, Augenlinsentrübung)
Diagnostischer Referenzwert	In der RöV sind DRW definiert als „Dosiswerte für typische Untersuchungen mit Röntgenstrahlung, bezogen auf Standardphantome oder auf Patientengruppen mit Standardmaßen, mit für die jeweilige Untersuchungsart geeigneten Röntgeneinrichtungen und Untersuchungsverfahren“. Die DRW dienen den Ärzten bei häufigen und/oder dosisintensiven Röntgenuntersuchungen als obere Richtwerte, die nicht beständig und ungerechtfertigt überschritten werden dürfen. Im Gegensatz zur Röntgendiagnostik sind die DRW in der nuklearmedizinischen Diagnostik keine oberen Richtwerte, sondern Optimalwerte. Sie geben also die für eine gute Bildqualität notwendige Aktivität an und sollen bei Standardverfahren und -patienten appliziert werden. Den Ärztlichen Stellen fällt die Aufgabe zu, die Einhaltung der DRW bei der Patientenexposition zu überprüfen. Die DRW stellen keine Grenzwerte für Patienten dar und gelten nicht für einzelne individuelle Untersuchungen
Diuretika	Arzneimittel, die eine erhöhte Ausscheidung von Salzionen und Wasser bewirken
Dosimetrie (nicht ionisierende Strahlung)	Quantitative Erfassung der Exposition durch elektromagnetische Felder
Dosimeter (nicht ionisierende Strahlung)	Personendosimeter; ein Messgerät zur Bestimmung der individuellen Exposition durch elektromagnetische Felder
Dosis	Siehe Energiedosis, Äquivalentdosis, Organdosis, Kollektivdosis und effektive Dosis
Dosisfaktor	Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt
Effektive Dosis	Summe der gewichteten Organdosen in den in Anlage VI Teil C der StrlSchV angegebenen Geweben oder Organen des Körpers durch äußere oder innere Strahlenexposition; die effektive Dosis ergibt sich aus den Organdosen durch Multiplikation mit dem jeweiligen Gewebe-Wichtungsfaktor
Elektrische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung der Kraft auf eine Ladung im elektrischen Feld, dividiert durch die Ladung. Ihre Einheit ist Volt pro Meter (V/m)
Elektrische Ladung	Eigenschaft von Körpern, die darin besteht, dass eine Anziehungskraft zwischen den geladenen Körpern entsteht. Willkürlich unterscheidet man zwischen positiven und negativen elektrischen Ladungen. Ladungen mit gleichen Vorzeichen stoßen sich ab, jene mit ungleichen Vorzeichen ziehen sich an. Die Einheit ist das Coulomb (C)
Elektrisches Feld	Zustand des Raumes um eine elektrische Ladung, der sich durch Kraftwirkungen auf andere elektrische Ladungen äußert
Elektrische Spannung	Maß für die Arbeit, die erforderlich ist, um eine Ladung in einem elektrischen Feld von einem Punkt zum anderen zu bringen, dividiert durch die Ladung. Die Einheit ist Volt (V)
Elektrischer Strom	Die durch den Querschnitt eines Leiters pro Zeiteinheit hindurchfließende elektrische Ladung. Die Einheit ist Ampere (A)
Elektrosensibilität	Umschreibung für eine subjektiv empfundene besondere Empfindlichkeit gegenüber niederfrequenten und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Elektromagnetische Felder werden als Ursache für verschiedene Befindlichkeitsstörungen wie Kopf- und Gliederschmerzen, Schlaflosigkeit, Schwindelgefühle, Konzentrationsschwächen oder Antriebslosigkeit gesehen. Ein wissenschaftlicher Nachweis für einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den Beschwerden und dem Einwirken niederfrequenter oder hochfrequenter elektromagnetischer Felder konnte bisher nicht erbracht werden

Elektrosensitivität	Besondere Empfindlichkeit gegenüber nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern; betroffene Personen spüren z.B. elektrische Ströme nachweislich bei geringeren Intensitäten als der Durchschnitt der Bevölkerung
Elektrostatisches Feld	Elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen
Energiedosis	Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird und der Masse in diesem Volumenelement. Die Einheit der Energiedosis ist das Gray (Gy)
Epidemiologie	Die Epidemiologie ist das Studium der Verbreitung und Ursachen von gesundheitsbezogenen Zuständen und Ereignissen in bestimmten Populationen. Das epidemiologische Wissen wird im Allgemeinen angewendet, um Gesundheitsprobleme der Bevölkerung unter Kontrolle zu halten.
Fall-Kontroll-Studie	Ein Studiendesign, das in der Epidemiologie entstanden ist. Fall-Kontroll-Studien dienen dem retrospektiven Nachweis von pathogenen Faktoren für gesundheitliche Störungen. In einer Fall-Kontroll-Studie wird untersucht, ob Personen mit einer bestimmten Krankheit (sog. Fälle) häufiger oder höher exponiert waren als vergleichbare Personen ohne diese Krankheit (sog. Kontrollen). **Eingebettete Fall-Kontroll-Studie:** Häufig wird im Rahmen einer Kohortenstudie gezielt eine bestimmte Krankheit näher untersucht. Hierzu werden alle Personen mit dieser Krankheit (sog. Fälle) aus der Kohorte ausgewählt und eine zufällige Teilmenge von Personen aus der Kohorte ohne diese Erkrankung (sog. Kontrollen) zufällig ausgewählt. Anschließend werden für diese Untergruppe gezielt weitere Befragungen oder Erhebungen durchgeführt. Man bezeichnet diesen Studientyp als eingebettete Fall-Kontroll-Studie, da die Fall-Kontroll-Studie in eine Kohortenstudie eingebaut wird
Fall-out	Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen durch Niederschlag und Sedimentation von Schwebstoffen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist
Fernfeld	Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes einer Strahlungsquelle, in dem die Beträge der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke umgekehrt proportional mit der Entfernung abfallen (Strahlungsfeld in genügender Entfernung von der Quelle)
Frequenz	Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde. Die Einheit ist Hertz (Hz)
Gammastrahlung	Energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann. Sie ist von gleicher Natur wie das sichtbare Licht oder wie Radiowellen. Sie bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit und hat ein hohes Durchdringungsvermögen
Gamma-0rtsdosisleistung	Gammakomponente der Ortsdosisleistung
Gammasubmersion	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Schwebstoffen und Gasen in der Atmosphäre
Globalstrahlung	Gesamtheit der aus dem oberen Halbraum auf horizontaler Ebene einfallenden direkten und diffusen Sonnenstrahlung
Hochfrequenz	Hochfrequente elektromagnetische Felder. Hier definiert als Frequenzen zwischen 100 kHz und 300 GHz (s. nicht ionisierende Strahlung)
Hot spots	Räumlich eng begrenzte Bereiche mit besonders hoher Absorption elektromagnetischer Felder

Induktion	Vorgang, bei dem in einem Leiter elektrischer Strom (Wirbelstrom) erzeugt wird, wenn der magnetische Fluss innerhalb dieses Leiters geändert wird
Influenz	Vorgang, bei dem in einem Körper durch ein äußeres elektrisches Feld eine Ladungsumverteilung stattfindet, so dass an der Oberfläche dieses Körpers lokal Überschüsse an positiven und an negativen elektrischen Ladungen auftreten
Infrarot-Strahlung	Optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 780nm - 1mm
Ingestion	Allgemein: Nahrungsaufnahme Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung
Inhalation	Allgemein: Einatmung Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft
Inkorporation	Allgemein: Aufnahme in den Körper Speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper
Interventionelle Radiologie	Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden
Ionisierende Strahlung	Elektromagnetische- oder Teilchenstrahlung, welche die Bildung von Ionen (Ionisierung) bewirkt (z.B. Alphastrahlung, Betastrahlung, Gammastrahlung, Röntgenstrahlung)
Isotop	Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleiche Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl
KMU-innovativ	Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sind in vielen Bereichen Vorreiter des technologischen Fortschritts. Die mit Spitzenforschung verbundenen Risiken sind allerdings für KMU häufig schwer zu schultern. Deshalb gestaltet das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit **KMU-innovativ** den Zugang zur Forschungsförderung für sie spürbar einfacher, u. a. durch vereinfachte Bonitätsprüfung. Mit KMU-innovativ fördert das BMBF Spitzenforschung in wichtigen Zukunftsbereichen.
Kohortenstudie	Eine Untersuchung, in der eine Gruppe von Personen (Kohorte), deren Expositionsbedingungen bekannt sind, über längere Zeit beobachtet wird. Die verschiedenen Expositionen werden mit dem Auftreten von Krankheiten in Verbindung gebracht
Kollektivdosis	Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert
Kontamination	Speziell: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen a) Oberflächenkontamination: Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, die die nicht festhaftende, die festhaftende und die über die Oberfläche eingedrungene Aktivität umfasst. Die Einheit der Messgröße der Oberflächenkontamination ist die flächenbezogene Aktivität in Becquerel pro Quadratzentimeter. b) Oberflächenkontamination, nicht festhaftende: Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, bei denen eine Weiterverbreitung der radioaktiven Stoffe nicht ausgeschlossen werden kann
Kosmische Strahlung	Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum
Kosmogene Radionuklide	In der Erdatmosphäre durch kosmische Strahlung erzeugte Radionuklide
Linearer Energietransfer (LET)	Der Lineare Ernergietransfer ist ein Maß für die Dichte der Ionisierung bei ionisierenden Strahlen

Leukämie	Krebs der weißen Blutzellen; Ursache weitgehend unbekannt; Inzidenzhäufigkeit 40 – 50 Fälle je 1 Million Einwohner. Es gibt mehrere Typen mit unterschiedlichem Krankheitsverlauf und unterschiedlicher Heilungswahrscheinlichkeit
Machbarkeitsstudie	In einer Machbarkeitsstudie wird untersucht, ob und unter welchen Bedingungen eine geplante aufwändige Untersuchung erfolgreich sein kann
Magnetfeld	Zustand des Raumes, der sich durch Kraftwirkungen auf magnetische Dipole (Magnetnadeln) äußert
Magnetische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung des Magnetfeldes. Die Einheit ist Ampere pro Meter (A/m)
Magnetische Flussdichte	Größe, die die Induktionswirkung des magnetischen Feldes beschreibt. Die Einheit ist Tesla (T). Magnetische Flussdichte und magnetische Feldstärke sind durch die Permeabilität μ (eine Materialkonstante) verbunden
Magnetische Induktion	Magnetische Flussdichte; Maß für die Anzahl der magnetischen Feldlinien pro Fläche. Die Einheit ist das Tesla (T). $1\ T = 1\ Vs/m^2$ (Voltsekunde pro Quadratmeter)
Magnetresonanztomographie (Kernspintomographie)	Schnittbildverfahren in der radiologischen Diagnostik, das im Gegensatz zur Computer-Tomographie (CT) keine ionisierende Strahlung verwendet, sondern verschiedene magnetische und elektromagnetische Felder. Bei Einhaltung aktueller Sicherheitsempfehlungen ist die Untersuchung für den Patienten mit keinen gesundheitlichen Risiken verbunden.
Medianwert	Derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50 % der Messwerte liegen
Myokardszintigraphie (MSZ)	Nuklearmedizinisches Untersuchungsverfahren, das je nach Durchführung Informationen über die Durchblutungsverhältnisse, Vitalität und Funktion des Herzmuskels liefert.
Nachweisgrenze	Die Nachweisgrenze bezeichnet den Wert eines Messverfahrens, bis zu dem die Messgröße mit den besten zurzeit verfügbaren Nachweismethoden gerade noch zuverlässig nachgewiesen werden kann, also in einem vorgegebenen statistischen Konfidenzintervall liegt.
Nahfeldexposition	Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes zwischen der Strahlungsquelle und ihrem Fernfeld (elektromagnetisches Feld in unmittelbarer Nähe der Strahlungsquelle)
Nicht ionisierende Strahlung	Elektrische, magnetische sowie elektromagnetische Felder mit Wellenlängen von 100 nm und darüber, die in der Regel keine Bildung von Ionen (Ionisierung) bewirken können
Nuklearmedizin	Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken
Nuklid	Durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart
Organdosis	Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor nach Anlage VI Teil C der StrlSchV. Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die Organdosis die Summe der nach Anlage VI Teil B ermittelten Einzelbeiträge durch äußere oder innere Strahlenexposition
Ortsdosis	Äquivalentdosis, gemessen an einem bestimmten Ort mit den in Anlage VI Teil A der StrlSchV angegebenen Messgrößen
Ortsdosisleistung	Ortsdosis pro Zeitintervall

Personendosis	Die Personendosis ist in der Strahlenschutzverordnung definiert als Messgröße. Sie entspricht der Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person. Man unterscheidet die Tiefen-Personendosis Hp(10) in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis Hp(0,07) in einer Messtiefe von 0,07 mm
Personendosimeter (nicht ionisierende Strahlung)	Messgerät zur Bestimmung der Höhe der Exposition durch niederfrequente oder hochfrequente elektromagnetische Felder einer einzelnen Person
Perzentil	Statistischer Wert, der von einem bestimmten Prozentsatz der Messergebnisse einer Stichprobe eingehalten wird (z.B. 95. Perzentil ist der Wert, der von nur 5 % der Stichprobe überschritten wird)
Positronen-Emissions-Tomographie (PET)	Nuklearmedizinisches Schnittbildverfahren, mit dessen Hilfe physiologische Funktionen und Stoffwechselprozesse sichtbar gemacht und quantifiziert werden können. Es beruht auf der Markierung von Biomolekülen mit kurzlebigen Radionukliden (Radiotracer), bei deren Zerfall Positronen entstehen. Die emittierte Strahlung wird mittels eines Detektorrings, der den Patienten umgibt, registriert und in Bilder umgesetzt, die die Verteilung des Radiotracers im Körper darstellen.
Pyranometer	Messgerät zur kontinuierlichen Aufnahme der Globalstrahlung
Querschnittsstudie	Querschnittsstudien umfassen eine Auswahl von Personen aus einer Zielpopulation zu einem festen Zeitpunkt (Stichtag). Für die ausgewählten Personen wird der Krankheitsstatus und die gegenwärtige oder auch frühere Exposition gleichzeitig erhoben
Radioaktive Stoffe	Stoffe, die ionisierende Strahlung spontan aussenden
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden
Radiojod	Radioaktive Jodisotope
Radionuklide	Instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
Risiko	Qualitative und/oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit seines Eintreffens (Eintrittswahrscheinlichkeit) und der Tragweite der Schadenswirkung
Risikokommunikation	Interaktiver (wechselseitiger) Prozess des Austausches von Informationen und Meinungen zu Risiken zwischen wissenschaftlichen Experten, Risikomanagern (Behörden) und der Öffentlichkeit (Betroffene, Interessensgruppen, etc.)
Risikowahrnehmung	Prozess der subjektiven Aufnahme, Verarbeitung und Bewertung von risikobezogenen Informationen auf Grund persönlicher Erfahrungen, aufgenommener Informationen und der Kommunikation mit anderen Individuen
Schwebstoffe	Feste oder flüssige Schwebeteilchen in der Luft (Durchmesser: 10^{-3} bis 10^{-8} cm). Der überwiegende Teil der natürlichen und künstlichen Radionuklide der Luft ist an Schwebstoffe gebunden
Sendeleistung	Die von einer Antenne abgestrahlte elektrische Leistung
SI-Einheiten	Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmesswesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen vom 13.12.1985 (BGBl.I S.2272) geregelt

Sievert (Sv)	SI-Einheit der Organdosis, der effektiven Dosis sowie der Äquivalentdosis 1 Sievert (Sv) = 100 Rem 1 Sievert = 1 000 Millisievert (mSv) = 1 000 000 Mikrosievert (µSv) = 1 000 000 000 Nanosievert (nSv)
Signaltransduktion	In der Biochemie und Physiologie werden damit Prozesse bezeichnet, mittels derer Zellen zum Beispiel auf äußere Reize reagieren, diese umwandeln und in das Zellinnere weiterleiten. An diesen Prozessen sind oft eine Vielzahl von Enzymen und sekundären Botenstoffen in einer oder mehreren nachgeschalteten Ebenen beteiligt (Signalkaskade).
Spezifische Absorptionsrate (SAR)	Die auf die Masse eines Körpers bezogene absorbierte Strahlungsleistung (Energie). Die Einheit ist Watt pro Kilogramm (W/kg)
Stochastisch	Zufallsbedingt; stochastische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von der Dosis abhängt, nicht jedoch deren Schwere
Strahlenbelastung	Siehe Strahlenexposition
Strahlenexposition	Einwirkung ionisierender oder nicht ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper oder Körperteile. Ganzkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender oder nicht ionisierender Strahlung auf den ganzen Körper, Teilkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender oder nicht ionisierender Strahlung auf einzelne Organe, Gewebe oder Körperteile. Äußere Strahlenexposition ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen außerhalb des Körpers. Innere Strahlenexposition ionisierender Strahlung ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen innerhalb des Körpers
Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)	Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, (2002, 1459)), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793)
Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG)	Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610), zuletzt geändert durch Artikel 1 des ersten Gesetzes zur Änderung des Strahlenvorsorgegesetzes vom 8. April 2008 (BGBl. I S. 686)
Teletherapie	Behandlung von Erkrankungen durch Bestrahlung des Körpers von außen (s.a. Brachytherayie)
Terrestrische Strahlung	Strahlung der natürlich radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind
Tritium	Radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet
UV-Strahlung	UV-Strahlung gliedert sich in den **UV-A-** (320–400 nm), **UV-B-** (280–320 nm) und UV-C- (200–280 nm) Anteil auf (siehe auch Anhang B)
Wirbelstrom	Durch Induktion in einem leitfähigen Körper erzeugter elektrischer Strom

Anhang D:

Stichwortverzeichnis
(fette Seitenzahlen beziehen sich auf das Glossar in Anhang C)